
BACHELORARBEIT

Herr

Hannes Kilian

**Wirtschaftlicher Variantenvergleich für
die Energieerzeugung eines Nahwär-
menetzes in Kombination mit einem
Mieterstrommodell – unter Berücksich-
tigung von Primärenergiefaktoren und
spezifischen CO₂-Emissionen**

Berlin, 2017

BACHELORARBEIT

Wirtschaftlicher Variantenvergleich für die Energieerzeugung eines Nahwär- menetzes in Kombination mit einem Mieterstrommodell – unter Berücksich- tigung von Primärenergiefaktoren und spezifischen CO₂-Emissionen

Autor:
Herr Hannes Kilian

Studiengang:
Energie- und Umweltmanagement

Seminargruppe:
EU14w1-b

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Ralf Hartig

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. (FH) Kay Gröne

Einreichung:
Berlin, 11.08.2017

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2017

Danksagung

Mit dieser Danksagung möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Bearbeitungsphase dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ein besonderer Dank gilt dabei Kay Gröne für die außerordentliche Betreuung im Unternehmen. Mit seiner fachlichen Kompetenz konnte er einen großen Beitrag und viele Anreize zur Optimierung dieser Bachelorarbeit leisten.

In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch für die schöne und vor allem erfahrungsreiche Zeit als Praktikant und Werkstudent bei der HOWEGE Wärme GmbH bedanken, wodurch diese Bachelorarbeit erst entstehen konnte.

Danke auch an meine Familie, die mich während meiner Studienzeit nicht nur finanziell, sondern auch emotional unterstützt hat.

Des Weiteren gilt mein Dank den Kollegen der Hochschule Mittweida, vor allem will ich mich bei Frau Korehnke bedanken für die Unterstützung bei der Organisation dieser Abschlussarbeit.

Abkürzungsverzeichnis

AGFW	Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BHKWs	Blockheizkraftwerke
BIn EWG	Berliner Energiewendegesetz
EK	Eigenkapital
EnEV	Energieeinsparverordnung
FW	Fernwärme
Hi	Heizwert
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
SLK	Spitzenlastkessel
VBH	Vollbenutzungsstunde
VOFI	Vollständiger Finanzplan

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 01: Fortschritte der EU bei der Umsetzung der Klima- und Energieziele für 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/europaeische-energie-klimaziele>, zuletzt geprüft am 29.05.2017.

Abbildung 02: Treibhausgas-Emissionen der EU, Projektionen und Minderungsziele. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/europaeische-energie-klimaziele>, zuletzt geprüft am 29.05.2017.

Abbildung 03: Projektlageplan. Eigene Darstellung.

Abbildung 04: Vergleich gekoppelte Erzeugung und getrennte Erzeugung im Einfamilienhaus. URL: <http://www.bhkw-jetzt.de/grundlagen/pro-contra/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Abbildung 05: Funktionsschema eines BHKWs. URL: <http://www.gratis-webserver.de/heizt-du-noch/5.html>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Abbildung 06: Schema Mieterstrom mit BHKW. URL: <http://www.bhkw-jetzt.de/politik-recht/kundenanlage/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Abbildung 07: Monatswärmeverbrauch Variante 3 und 4. Eigene Darstellung.

Abbildung 08: Jahresdauerlinie Varianten 3 und 4. Eigene Darstellung.

Abbildung 09: Spezifischer Jahreswärmebedarf. Eigene Darstellung.

Abbildung 10: Jahresdauerlinie Variante 3. Eigene Darstellung.

Abbildung 11: Datenblatt agenitor 406 (bt80-0). URL: <http://www.2-g.com/de/agenitor-80-bis-450-kw/>, zuletzt geprüft am 10.07.2017.

Abbildung 12: Jahresdauerlinie Variante 4. Eigene Darstellung.

Abbildung 13: Datenblatt agenitor 408 (ct80-0). URL: <http://www.2-g.com/de/agenitor-80-bis-450-kw/>, zuletzt geprüft am 10.07.2017.

Abbildung 14: Primärenergiefaktoren. Eigene Darstellung.

Abbildung 15: CO₂-Emissionen Wärme. Eigene Darstellung.

Abbildung 16: Eigenkapitalrendite. Eigene Darstellung.

Abbildung 17: Eigenkapitalrendite bei Wärmepreis von 1,05€/m² im Monat. Eigene Darstellung.

Abbildung 18: Wärmepreis bei 5% Eigenkapitalrendite. Eigene Darstellung.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 01: Gebäude Daten. Eigene Darstellung.

Tabelle 02: Fördersätze BAFA. Eigene Darstellung.

Tabelle 03: Technische Daten. Eigene Darstellung.

Tabelle 05: Berechnung des spezifischen Jahreswärmebedarfs und die Berechnung des gesamten Jahreswärmebedarfs der vier Varianten. Eigene Darstellung.

Tabelle 06: Auslegung Fernwärme. Eigene Darstellung.

Tabelle 07: Berechnung der gegenwärtigen Vollbenutzungsstunden. Eigene Darstellung.

Tabelle 08: Auslegung Gasbrennwertkessel. Eigene Darstellung.

Tabelle 09: Wärmepreiskalkulation. Eigene Darstellung.

Tabelle 10: Stromgewinnberechnung einer Kilowattstunde bei der Netzeinspeisung. Eigene Darstellung.

Tabelle 11: Stromgewinnberechnung einer Kilowattstunde im Mieterstrommodell. Eigene Darstellung.

Tabelle 12: Stromkennzahl Berechnung der BHKWs. Eigene Darstellung.

Tabelle 13: Primärenergiefaktoren Berechnung der einzelnen Varianten.

Tabelle 14: CO₂-Emissionsfaktoren. Eigene Darstellung.

Tabelle 15: Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen der einzelnen Varianten. Eigene Darstellung.

Tabelle 16: Eigenkapitaldaten. Eigene Darstellung.

Tabelle 17: Kreditdaten. Eigene Darstellung.

Tabelle 18: Zusammenfassung der Kennzahlen. Eigene Darstellung.

Formelverzeichnis

Formel 01: Stromkennzahl

Formel 02: Primärenergiefaktor

Formel 03: Primärenergiefaktor für Variante 3

Formel 04: Primärenergiefaktor für Variante 2

Formel 05: Primärenergiefaktor für Variante 4

Formel 06: CO₂-Emissionen der Wärmenetzeinspeisung

Formel 07: CO₂-Emissionen des im Zusammenhang mit der Wärmeerzeugung eingesetzten Hilfsstroms

Formel 08: CO₂-Emissionen aller Netzeinspeisungen in einer Berichtsperiode für die Varianten 1 und 2

Formel 09: Emissionsgutschriften Variante 3 und 4

Formel 10: CO₂-Emissionen aller Netzeinspeisungen in einer Berichtsperiode für die Varianten 3 und 4

Formel 11: Eigenkapitalrentabilität

Formel 12: Jahresüberschuss

Formel 13: Gesamtstrombedarf

Symbolverzeichnis

Zeichen	Einheit	Bedeutung
A	m^2	Fläche
T	A	Julianisches Jahr
A_{Hex}	kWh	für Hilfsanlagen in der Wärmeerzeugung oder im Wärmenetz erforderlicher Stromeinsatz
A_{HN}	kWh	Hilfsstrom
α_{KWK}	-	KWK-Deckungsanteil
α_{th}	-	SLK-Deckungsanteil
E_{Hex}	kg/a	CO ₂ -Emissionen des im Zusammenhang mit der Wärmeerzeugung eingesetzten Hilfsstromes
E_{Sex}	kg/a	CO ₂ -Emissionsgutschrift der Stromeinspeisung
E_{WEx}	kg/a	CO ₂ -Emissionen aller Wärmenetzeinspeisungen
$E_{\Sigma WE}$	kg/a	CO ₂ -Emissionen aller Wärmenetzeinspeisungen in einem Bilanzkreis einer Berichtsperiode
f_{Hex}	kg/MWh	CO ₂ -Emissionsfaktor des bezogenen Stroms
f_p	-	Primärenergiefaktor
$f_{P,BR}$	-	Primärenergiefaktor des Brennstoffes
$f_{P,verdr}$	-	Primärenergiefaktor Strom
f_{SE}	kg/MWh	CO ₂ -Emissionsfaktor des Stroms
f_{WE}	kg/MWh	CO ₂ -Emissionsfaktor der Wärmenetzeinspeisung
f	Hz	Frequenz
P_{th}	kW_{th}	Wärmeleistung
P_{el}	kW_{el}	Elektrische Leistung
l	m	Meter
Q_{bn}	MWh	Gesamtwärmebedarf
Q_E	MWh	Endenergie
Q_P	MWh	Primärenergiebedarf
Q_{Sex}	MWh	Stromnetzeinspeisung x der Stromerzeugungsanlage in einer Berichtsperiode
Q_{WEx}	MWh	Wärmenetzeinspeisung x der Wärmeerzeugungsanlage in einer Berichtsperiode
U	V	Elektrische Spannung
ζ_{HN}	-	Nutzungsgrad des Heiznetzes
$\zeta_{ne;KWK}$	-	Nutzungsgrad KWK-Anlage
$\zeta_{ne th}$	-	Nutzungsgrad Brennwärmtessel
σ	-	Stromkennzahl

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Abkürzungsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Formelverzeichnis	V
Symbolverzeichnis	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
1. Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Vorstellung des Projektes	6
2. Grundlagen	8
2.1 Technische Grundlagen	8
2.1.1 Brennwerteffekt	8
2.1.2 Fernwärme	9
2.1.3 Blockheizkraftwerke	9
2.1.3.1 Kraft-Wärme-Kopplung	9
2.1.3.2 BHKW-Technik	11
2.1.3.3 Betriebsarten des BHKWs	12
2.1.4 Mieterstrom	13
2.1.5 Primärenergiebedarf	14
2.1.6 Kohlenstoffdioxidemissionen	17
2.2 Wirtschaftliche Grundlagen	19
2.2.1 Eigenkapitalrentabilität und Gewinnberechnung	19
2.2.2 Erklärung Tool	20
2.2.3 Rechtliche Grundlagen	21
3. Auslegung der Varianten	23
3.1 Ausgangssituation	23
3.1.1 Technische Ausgangssituation	23
3.1.2 Wirtschaftliche Ausgangssituation	24
3.1.3 Erklärung der Varianten	25
3.2 Ermittlung des Energiebedarfs	26
3.2.1 Wärmebedarf	26
3.2.2 Strombedarf	29
3.3 Auslegung Variante 1 „Fernwärme“	29
3.4 Auslegung Variante 2 „Gasbrennwertkessel“	30
3.5 Auslegung Variante 3 „Grundlast-BHKW“	31
3.6 Auslegung Variante 4 „Wärmeoptimiertes BHKW“	33

4. Preiskalkulation	36
4.1 Wärmepreis	36
4.2 Strompreis	37
5. Berechnung der Kennzahlen	39
5.1 Primärenergiefaktoren	39
5.2 Spezifische CO ₂ -Emissionen	41
5.3 Eigenkapitalrentabilität	44
6. Analyse der Ergebnisse	47
7. Fazit	49
7.1 Auswertung	49
7.2 Zusammenfassung	50
7.3 Ausblick	50
Literaturverzeichnis	52
Anhang	55

1. Einleitung

Seit der Industrialisierung steigt kontinuierlich die globale Mitteltemperatur der Luft in Bodennähe. Wissenschaftliche Forschungen belegen, dass für einen bedeutenden Teil dieses Anstiegs wir Menschen verantwortlich sind. Deshalb spricht man von einer anthropogenen – vom Menschen verursachten – Klimaänderung.¹

Um die Klimaerwärmung einzudämmen beschloss die Europäische Union im Rahmen des Klima- und Energiepaktes nachstehende Ziele bis zum Jahre 2020²:

- Treibhausgas-Emissionen werden um 20 % gemindert gegenüber dem Basisjahr 1990 bzw. um 30 %, falls andere Industrieländer vergleichbare Ziele vereinbaren.
- Die Nutzung erneuerbarer Energien wird auf 20 % des gesamten Endenergieverbrauchs gesteigert.
- Die Energieeffizienz wird um 20 % gesteigert im Vergleich zu einer Entwicklung ohne weitere Effizienzanstrengungen.

Diese Ziele wurden 2009³ festgelegt. Im nachfolgenden Diagramm ist zu erkennen, dass die EU bei einem gleichbleibenden Verlauf alle drei Zielwerte einhalten oder sogar überschreiten wird.

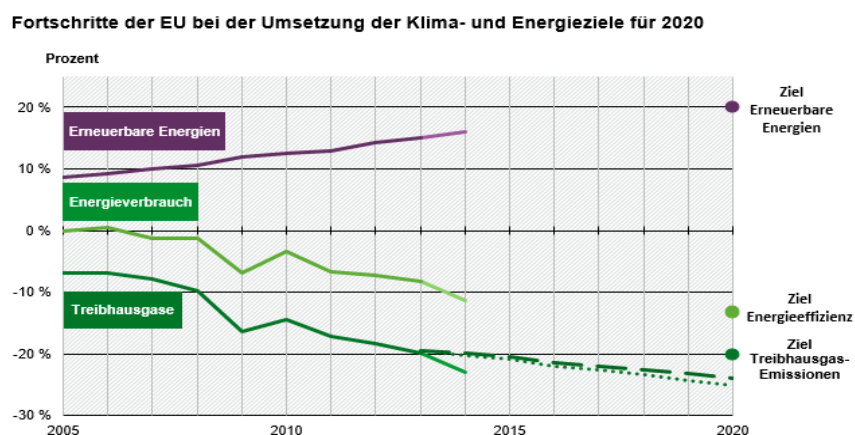


Abbildung 01: Fortschritte der EU bei der Umsetzung der Klima- und Energieziele für 2020 (Quelle: Umweltbundesamt)

¹ Vgl. o.A. (2016): Klimawandel, Hg. v. Umweltbundesamt, online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

² Vgl. o.A. (2016): Europäische Energie- und Klimaziele, Hg. v. Umweltbundesamt, online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/europaeische-energie-klimaziele>, zuletzt geprüft am 29.05.2017.

³ Ebd.

Bei den mittel- und langfristigen Zielen der Treibhausgasminderung ist eine andere Entwicklung erkennbar. Das folgende Diagramm zeigt, dass mit bestehenden Maßnahmen die Folgeziele nicht erreicht werden. Dabei gibt die Abszissenachse die Jahre von 1990 bis 2050 an und die Ordinatenachse von 0 bis 7.000 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent. Die verschiedenen Treibhausgase erzielen eine unterschiedliche Klimaschädigung. Deshalb wird jedes Treibhausgas in Kohlendioxid-Äquivalent umgerechnet. Dadurch können alle Treibhausgase eines Gebietes summiert und mit einem anderen Gebiet verglichen werden.

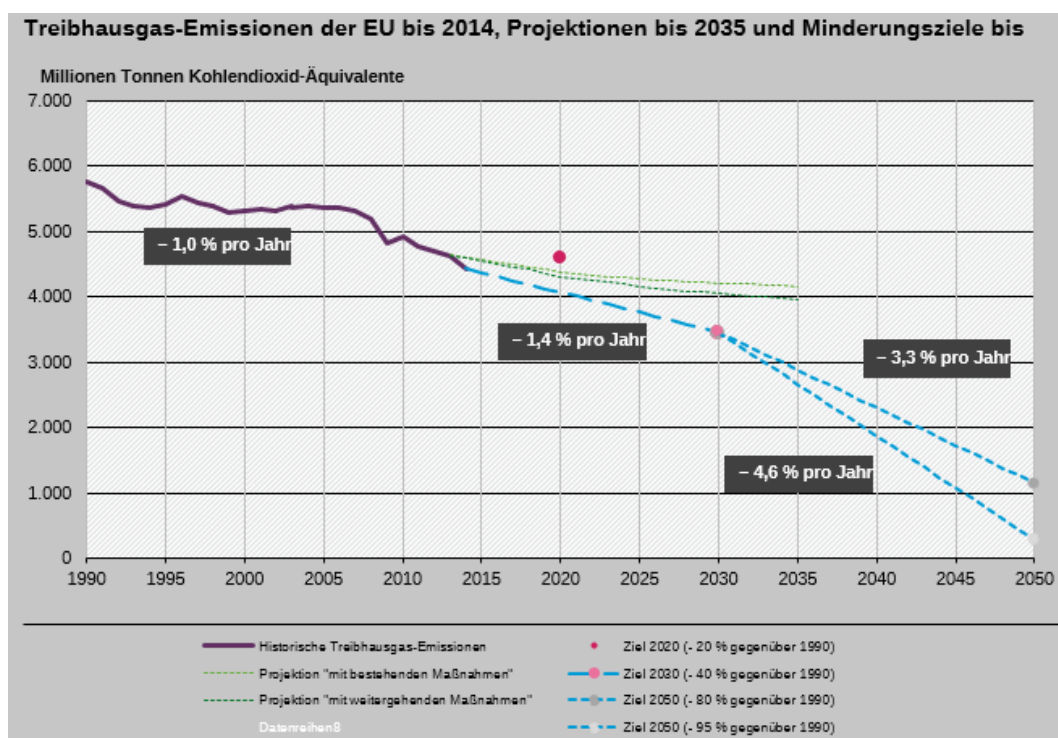


Abbildung 02: Treibhausgas-Emissionen der EU, Projektionen und Minderungsziele (Quelle: Umweltbundesamt)

Um diese Minderungsziele zu erreichen, fehlen noch innovative Ansätze und Technologien die zu Kohlenstoffdioxideinsparungen führen.

Als Tochterunternehmen eines landeseigenen Wohnungsbauunternehmens vertritt die HOWOGE Wärme GmbH die Interessen der Hauptstadt. Das Ziel des Landes Berlins ist bis 2050 klimaneutral zu sein. Dies bedeutet einen Rückgang von mindestens 85% der Kohlenstoffdioxid-Emissionen im Vergleich zum Jahre 1990. Um das zu erreichen trat am 6. April 2016 das Berliner Energiewendegesetz in Kraft.⁴ Ein enormes Potential

⁴ Vgl. o.A. (o.J.): Ein Energiewendegesetz für Berlin, Hg. v. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, online verfügbar unter <http://www.berlin.de/senuvk/klimaschutz/energiewendegesetz/>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

ist in Deutschland vorhanden. Knapp 40% des Energieverbrauchs und rund ein Drittel der CO₂-Emissionen fallen im Gebäudesektor an.⁵ Viele Gebäude werden noch mit Gaskesselanlagen aus den 90er Jahren beheizt. Diese sind nicht mehr auf dem Stand der heutigen Technik und verbrauchen mehr fossile Energieträger für die Erzeugung der gleichen Wärmemenge als moderne Anlagen. Eine Möglichkeit für die effizientere Energieversorgung stellen Blockheizkraftwerke dar. Diese Idee wird bei einem Projekt der HOWOGE Wärme GmbH aufgegriffen. Sie hat es sich zur Aufgabe gemacht, innovative Lösungsansätze für eine effizientere und umweltfreundlichere Energieversorgung der Bestandsgebäude und für Neubauprojekte zu entwickeln. Als einhundertprozentiges landeseigenes Unternehmen setzt die HOWOGE Wärme GmbH die Ziele des Bln EWG um. Dadurch wird der Aufbau einer klimaverträglichen Energieerzeugung und -versorgung unterstützt.⁶

⁵ Vgl. o.A. (2017): Energieeinsparverordnung (EnEV), Hg. v. Verbraucherzentralen Deutschland, online verfügbar unter <https://www.verbraucherzentrale.de/enev>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

⁶ Vgl. o.A. (2016): Berliner Energiewendegesetz (Bln EWG), Hg.v. juris GmbH, online verfügbar unter <http://gesetze.berlin.de/jportal/jsessionid=BD51BC8DD4279B278D2685468EB88CC6.jp23?quelle=jlink&query=EWendG+BE&psml=bsbe-prod.psml&max=true&aiz=true#jlr-EWendGBEpP15>, §15, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

1.1 Aufgabenstellung

Die HOWOGE Wärme GmbH plant im Zuge einer Projektentwicklung ein liegenschaftsübergreifendes Energiekonzept. Hierbei sollen bisher dezentral versorgte Mehrfamilienhäuser aus einer gemeinsam gespeisten Heizzentrale mit thermischer Energie versorgt werden. Um Klimaschutzziele des Landes Berlin umzusetzen sowie dem innovativen zukunftsorientierten Leitbild der HOWOGE Wärme GmbH zu entsprechen, werden deshalb im Rahmen dieser Bachelorarbeit vier verschiedene Energiekonzepte ausgelegt und hinsichtlich der drei **Kennzahlen Primärenergiefaktoren, spezifische CO₂ Emissionen und Eigenkapitalrentabilität** untersucht.

Die einzelnen Varianten sind:

1. Wärmeversorgung durch Fernwärme

Die Versorgung durch das Vattenfall Fernwärmenetz, welches die Vattenfall Europe Wärme AG betreibt. Dabei werden die Wärmeanlagen zu Fernwärmestationen umgebaut.

2. Wärmeversorgung durch moderne Gasbrennwertkessel

Die Erneuerung der kompletten Bestandsanlagen, dabei wird die gesamte Wärmanlage modernisiert und effiziente Gasbrennwertkessel verbaut. Die Erzeugung bleibt dabei dezentral.

3. Wärme- und Stromversorgung durch eine Energiezentrale, die durch ein Grundlast-BHKW und mehrere Gasbrennwertkessel ein Strom- und Nahwärmenetz beliefert.

Bei Variante drei wird eine Energiezentrale errichtet. Von dieser sollen zwanzig Mehrfamilienhäuser über ein Strom- und Nahwärmenetz versorgt werden. Die Versorgung wird durch Gasbrennwertkessel und einem Grundlast-BHKW gewährleistet. Durch Pufferspeicher werden längere Betriebszeiten des BHKW ermöglicht. Der produzierte Strom wird mithilfe eines Mieterstrommodells verkauft.

4. Wärme- und Stromversorgung durch eine Energiezentrale, die durch ein Grundlast-BHKW, einem Wärmeoptimierten-BHKW und mehrere Gasbrennwertkessel ein Strom- und Nahwärmenetz beliefert.

Diese Variante wird synchron zu Variante drei geplant, der Unterschied ist, dass zusätzlich zum Grundlast-BHKW ein Wärmeoptimiertes-BHKW geplant wird.

1.2 Zielsetzung

Ziel ist es, mit Hilfe einer Wirtschaftlichkeitsberechnung vier Varianten zu vergleichen. Dabei soll herausgefunden werden, welches Energieversorgungskonzept am vorgegebenen Standort die unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimalste Variante darstellt, um diese in der HOWOGE Wärme GmbH als Entscheidungshilfe zu nutzen.

1.3 Vorstellung des Projektes

Das Projekt umfasst **20 Mehrfamilienhäuser verschiedener Wohnungsbauunternehmen, welche im gleichen Baujahr errichtet wurden und eine analoge Bauart haben**. Aufgrund des Alters muss die Wärmeversorgung der Häuser modernisiert werden. Diesbezüglich wird eine Zentralisierung der Anlagen in Betracht gezogen. Die hauseigene Versorgung kann mit einem Gesamtkonzept ersetzt werden. Die Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten werden von der HOWOGE Wärme GmbH getragen. Im Gegenzug entstehen für die Wohnungsbauunternehmen Strom- und Wärmekosten abhängig vom Verbrauch. Die wichtigsten Daten der einzelnen Mehrfamilienhäuser können aus der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 01: Gebäude Daten (Quelle: Eigene Darstellung)

Mehrfamilienhaus Nr.	Gegenwärtige Wärmeversorgung	Wohneinheiten	Etagen	Wohnfläche in m ²	Ist Anlagenwärmeleistung in kW	Baujahr	Sanierung	Dämmung nach
1	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
2	Gaskessel	46	4	2.074 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
3	Gaskessel	46	4	2.089 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
4	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	2.138 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
5	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	2.139 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
6	Gaskessel	32	4	2.110 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
7	Gaskessel	32	4	2.110 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
8	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
9	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
10	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	2.110 m ²	180 kW	1963	1999	WSVO*
11	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
12	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
13	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
14	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
15	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
16	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
17	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	1.809 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
18	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	1.815 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
19	Gasetagenheizung (GEH)	32	4	1.809 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
20	Gaskessel	32	4	1.811 m ²	150 kW	1963	1999	WSVO*
		668		38.313 m ²	3210 kW			

WSVO* = nach Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994 gedämmt

Die versorgten Gebäude besitzen insgesamt 668 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von 38.313 Quadratmetern. In der folgenden Lageskizze sind die einzelnen Mehrfamili-

liehnhäuser, die zugehörige Nummer aus der Tabelle, die Energiezentrale und das Nahwärmenetz abgebildet. Die Energiezentrale und das Nahwärmenetz sind dabei nur für die Varianten 3 und 4 vorgesehen.

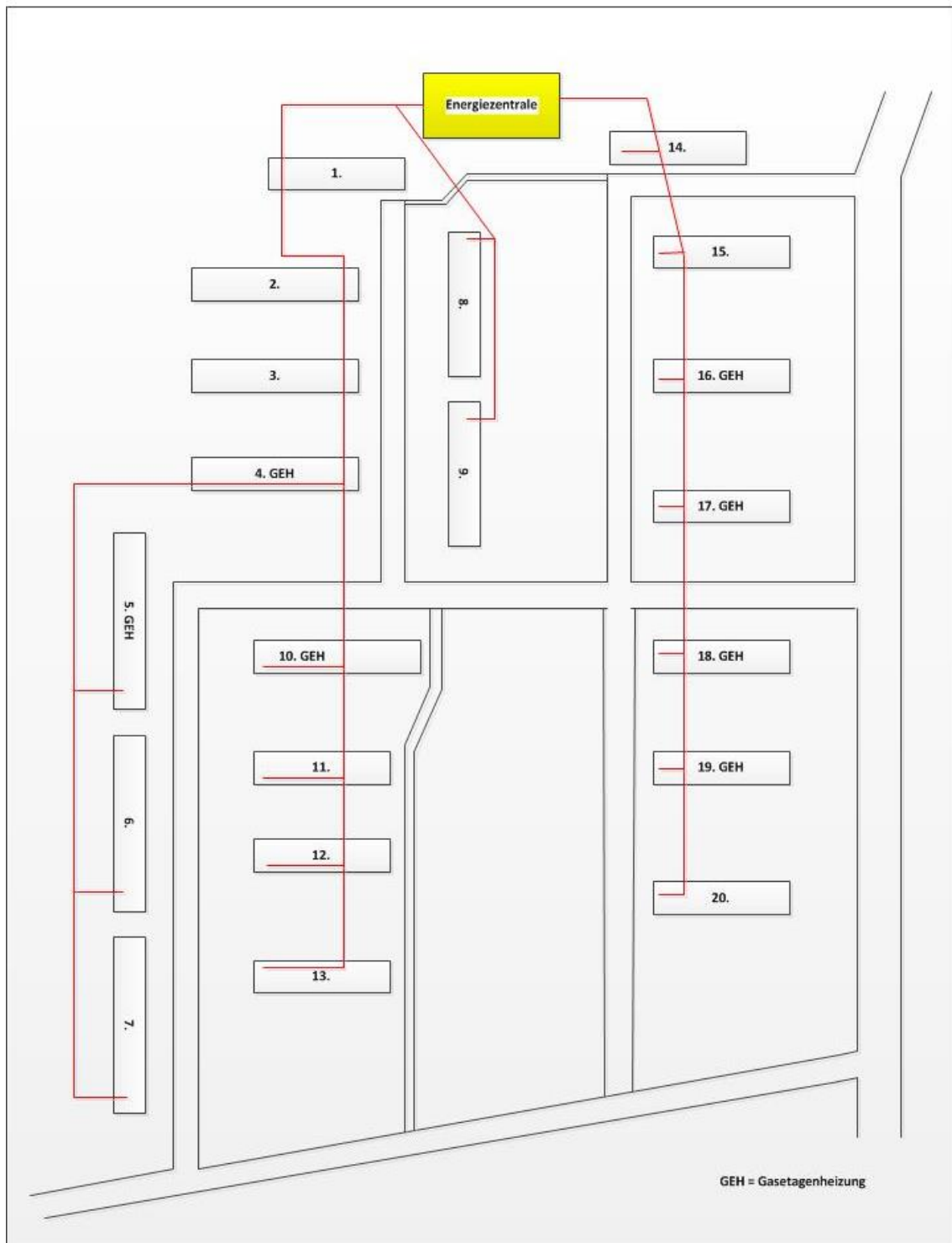


Abbildung 03: Projektlageplan (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Projekt stellt den Ausgangspunkt der Bachelorarbeit dar. Im Folgenden wird ein Einblick in die Theorie gegeben, welche zum Verständnis dieser Arbeit essentiell ist.

2. Grundlagen

Dieses Kapitel beinhaltet konstitutive Informationen, die für weitere Betrachtungen relevant sind und das Grundgerüst dieser Abschlussarbeit darstellen.

2.1 Technische Grundlagen

Die technischen Grundlagen geben einen ersten Einblick in die Technologien, welche für die Varianten benötigt werden. Dabei wird auf den Brennwerteffekt, die Fernwärme, das Blockheizkraftwerk und den Mieterstrom eingegangen. Anschließend werden die Begriffe Primärenergiefaktor und Kohlenstoffdioxidemissionen näher erläutert. Darüber hinaus wird gezeigt, wie diese beiden Kennzahlen berechnet werden.

2.1.1 Brennwerteffekt

Die Aufgabe eines Brennwertkessels ist das Erwärmen von Heizwasser. Dies geschieht durch das Verbrennen chemischer Energieträger. Dabei wandelt der Kessel chemische Energie in thermische Energie um. Als Brennstoff wird dafür beispielsweise Gas genutzt.

Der Unterschied zu herkömmlichen Heizkesseln ist, dass die bei der Verbrennung entstandenen heißen Abgase durch einen Wärmetauscher geleitet werden und den Heizungsrücklauf erwärmen. Der eigentliche Nutzen der Verdampfungswärme wird bei Erdgas erst bei Unterschreitung der Kondensationstemperatur unterhalb von 56°C ermöglicht.⁷ Deshalb wird das Abgas bis zum sogenannten Taupunkt abgekühlt. Bei der Kondensation setzt sich die im Abgas enthaltene Kondensationswärme frei. Aus diesem Grund wird neben der Verbrennungswärme auch noch die latente Wärme genutzt. Nur bei Nutzung dieser Wärme wird ein Kessel als Brennwertkessel bezeichnet.

Durch diesen Effekt werden der Verbrauch von Brennstoffen minimiert und schädliche Abgase, die vorher über den Schornstein an die Umwelt abgegeben wurden, nun durch die Kondensation im Kondensationswasser gebunden. Das Kondensat wird durch eine Neutralisationseinrichtung neutralisiert und in das Abwasser eingeleitet.

⁷ Vgl. Theiß, Eric (2012): Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik, S. 139.

Ein Brennwertkessel ist strenggenommen ein optimierter Heizkessel, der zum einen die Wärme aus dem Abgas nutzt und zum anderen durch das Auffangen des Kondensates umweltfreundlicher ist, als ein Heizkessel.

2.1.2 Fernwärme

Das Berliner Fernwärmenetz gilt als das größte Fernwärmenetz Westeuropas.⁸ Der Hauptteil der Wärme wird durch Heizkraftwerke oder Blockheizkraftwerke erzeugt. Typische Energieträger dafür sind fossile Brennstoffe, Biomasse oder Müll. Eine weitere Möglichkeit ist, industrielle Abwärme in das Netz einzuspeisen. Die Voraussetzung für ein Fernwärmenetz ist ein vorhandener und nah gelegener Abnehmer der Wärme. Deshalb ist es nur in bestimmten Gebieten Deutschlands möglich, ein Fernwärmenetz zu bauen. Am besten eignen sich Ballungsräume mit entsprechender Wohnraum-dichte. Hier sind Versorgungsstrecken sehr kurz und viele Abnehmer vorhanden. Für Fernwärmenetze bieten sich aus diesen Gründen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen an.

2.1.3 Blockheizkraftwerke

Ein Blockheizkraftwerk ist eine technische Anlage, die auf dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung beruht und sowohl elektrische Energie als auch thermische Energie produziert. Erfolgt dieses Prinzip in einer kompakten Anlage, dann wird diese als Blockheizkraftwerk bezeichnet.

2.1.3.1 Kraft-Wärme-Kopplung

Mit der Kraft-Wärme-Kopplung werden Verfahren definiert, bei denen eine Energieanlage aus den zugeführten Energien gleichzeitig mehrere Endenergien, z.B. Strom und Wärme, erzeugt.⁹

⁸ Vgl. o.A. (o.J.): Landesenergieprogramm Berlin 2006-2010, Hg. v. Senat Berlin, online verfügbar unter http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/landesenergieprogramm/de/downloads/endfassung_landesenergieprogramm.pdf, S. 5, zuletzt geprüft am 05.07.2017.

⁹ Vgl. Theiß (2012). S. 155

Durch die gekoppelte Erzeugung in einem Prozess wird eine deutlich höhere Energieausnutzung erzielt als bei einer getrennten Energieerzeugung.

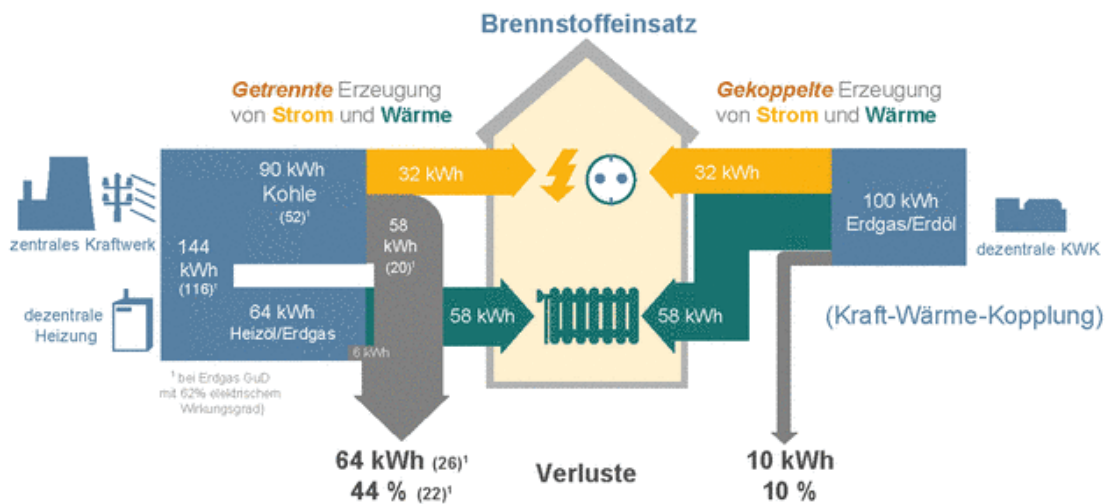


Abbildung 04: Vergleich gekoppelte Erzeugung und getrennte Erzeugung im Einfamilienhaus (Quelle: solares Bauen GmbH; bhkw-jetzt.de)

Wie in der Abbildung 4 zu sehen ist, kann eine gekoppelte Erzeugung gegenüber einer konventionell getrennten Erzeugung im Durchschnitt 30 Prozent der Primärenergie einsparen. Dieser Vorteil entsteht jedoch nur, wenn die Wärme Vorort genutzt wird, ansonsten kann eine gekoppelte Erzeugung sogar schlechter sein. Des Weiteren werden Schadstoffemissionen und Anlagenkosten minimiert.

Beispiele für KWK-Anlagenarten können in verschiedenen Bauweisen auftreten, die geläufigsten sind:¹⁰

- Dampfturbinen
- Gasturbinen
- Gas- und Dampfturbinen (GuD)
- Verbrennungsmotoren
- Brennstoffzellen

Technisch möglich ist es mit fast jedem Brennstoff eine KWK-Anlage zu betreiben. Deshalb kommen sowohl jegliche fossilen Energieträger als auch regenerativen Energieträger wie zum Beispiel Biogas, Holz, Pellets, Müllverbrennung und Deponiegas in

¹⁰ Vgl. Theiß (2012), S. 159 f.

Betracht. Neben den Brennstoffen kann auch eine Wärmequelle genutzt werden. Diese muss jedoch eine sehr hohe Temperatur haben, um eine Dampfturbine anzutreiben. Dafür können Solarthermie- und Geothermie als weitere alternative Energien genutzt werden.

2.1.3.2 BHKW-Technik

Wie in der Abbildung 5 zu sehen ist, bestehen Blockheizkraftwerke aus drei Hauptelementen: Motor, Generator und Wärmetauscher. Der Motor ist dabei das wichtigste Bauelement. Dieser unterscheidet sich je nach Brennstoff und Anlagengröße. Bei der Verbrennung des Brennstoffs entsteht thermische Energie, die bei allen Motortypen, ausgenommen Brennstoffzellen, in mechanische Energie umgewandelt wird. Diese Energie treibt einen Kolben oder eine Turbine an und wandelt die mechanische Energie einer drehenden Welle in elektrische Energie im Generator um. Der gewonnene Wechselstrom besitzt eine Spannung von 400 V bei einer Frequenz von 50 Hz und kann je nach Bedarf vor Ort verbraucht werden. Bei Überschüssen wird der Strom in das öffentliche Netz eingespeist. Dabei muss die Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) eingehalten werden.

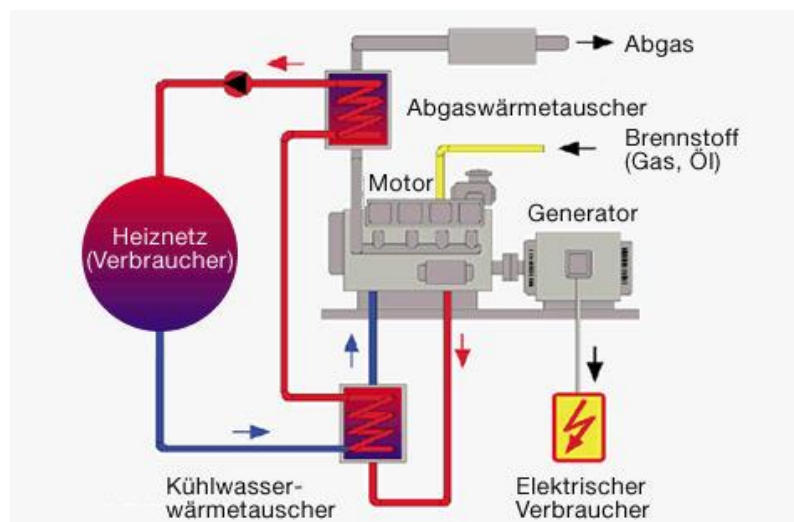


Abbildung 05: Funktionsschema eines BHKWs (Quelle: Mayer, Simon; gratis-webserver.de)

Damit der BHKW-Motor oder die BHKW-Turbine nicht überhitzt, muss diese gekühlt werden. Dafür wird ein BHKW-Kühlkreislauf intern betrieben. Die dabei anfallende Abwärme wird über einen Kühlwasserwärmetauscher nutzbar gemacht. Zusätzlich wird die Abwärme des Abgases durch einen Abgaswärmetauscher genutzt. Im Abgasweg

befindet sich meist noch ein Abgasschalldämpfer und ein Katalysator. Diese sind dafür zuständig, die Lautstärke bzw. den Schadstoffgehalt zu minimieren.

Die Stromkennzahl (σ) gibt das Verhältnis der elektrischen Leistung zur genutzten Wärmeleistung des BHKWs an.

$$\sigma = \frac{P_{el}}{Q_{nutz}} \quad (01)$$

Sie wird dazu benötigt, zuschlagfähige Strommengen nach KWKGs-Gesetz zu berechnen. Die zuschlagfähige Strommenge berechnet sich aus der Multiplikation von der Stromkennzahl mit der externen Nutzwärmemenge.¹¹

Die Stromkennzahl ist abhängig von der Leistung und der Art des Motors. Bei einer höheren Leistung erreicht ein BHKW einen höheren elektrischen Wirkungsgrad. Die Stromkennzahl ist direkt proportional zu der Leistung. Dies ist ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor, da bei einem BHKW der produzierte Strom den größten Mehrwert bringt.

Moderne BHKWs erreichen dabei einen Gesamtwirkungsgrad ohne Brennwertnutzung von 90 %. Dieser hängt jedoch stark von der Dimension und Art der Anlage ab.¹²

Blockheizkraftwerke können mit Hilfe regenerativer Energieträger CO₂-neutral betrieben werden. Brennstoffe hierfür wurden in dem vorhergehenden Punkt genannt (vgl. 2.1.3.1 Kraft-Wärme-Kopplung).

2.1.3.3 Betriebsarten des BHKWs

Stromgeführtes BHKW

Bei einer stromgeführten Auslegung wird die Dimension des BHKWs dem Strombedarf angepasst. Dadurch kann möglichst viel Strom erzeugt werden. Da die Wärme nicht immer direkt benötigt wird, besteht die Möglichkeit, einen Pufferspeicher einzusetzen. Somit können Wärmeüberschüsse gespeichert werden. Ist die Aufnahmekapazität des Speichers erreicht, bleibt der Vorteil einer KWK-Anlage aus. Diese Betriebsart wird häufig im gewerblichen Bereich eingesetzt, weil somit Stromeinkäufe eingespart werden. Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist das stromgeführte BHKW als Insel-Anlage zu

¹¹ Vgl. Behrla, Oliver (o.J.): Was bedeuten Wirkungsgrad und Stromkennzahl beim BHKW, Hg. v. DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH, online verfügbar unter <https://www.heizungsfinder.de/bhkw/ratgeber/stromkennzahl-wirkungsgrad>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

¹² Ebd.

betreiben. Dies bedeutet, dass die Anlage autark vom öffentlichen Stromnetz die Energieversorgung eines Verbrauchers sicherstellt.

Wärmegeführtes BHKW

Bei der wärmegeführten Betriebsweise wird die Dimension des BHKWs dem Wärmebedarf angepasst. In den meisten Fällen wird das BHKW bei dieser Art der Betriebsweise bivalent betrieben, d. h. es wird mit einer zweiten Wärmeanlage - meist Gaskesselanlage - betrieben. Nur wenn Wärme benötigt wird, schaltet das BHKW ein. Für Wartungszeiten und Spitzen werden Gaskesselanlagen zugeschaltet. Da bei regelmäßigen Ein- und Ausschalten des BHKWs Verschleiß beim Motor auftreten kann, ist es sinnvoll, ein wärmegeführtes BHKW mit einem Pufferspeicher zu betreiben. Somit werden Benutzungszeiten in Wärmesenken verlängert, um eventuell entstehende Kosten zu minimieren. Moderne BHKW-Motoren können in Teillast laufen und sich somit dem Wärmebedarf besser anpassen. Der produzierte Strom wird vorzugsweise direkt vor Ort verbraucht. Steht jedoch kein Abnehmer zur Verfügung, kann der überschüssige Strom in das öffentliche Netz eingespeist und vergütet werden.

2.1.4 Mieterstrom

Es ist bereits möglich, als Immobilienbesitzer dezentral Energie zu erzeugen und im Eigenverbrauch zu nutzen oder in das öffentliche Netz einzuspeisen. Umsetzbar ist dies nur, wenn der Strom dieselbe juristische oder natürliche Person nutzt, welche auch die Anlage betreibt. Bei der Nutzung des Stroms für die Abdeckung des Eigenverbrauches entfallen alle Umlagen und Steuern. Da bei Mietwohnungen dies leider nicht der Fall ist, konnten Mieter von dezentraler Energie nicht profitieren. Mit einer Statistik aus dem Jahre 2015 wurde herausgefunden, dass 57% aller Menschen zur Miete in Deutschland wohnen.¹³

Durch den Mieterstrom oder auch Vorortstrom genannt, ist es nun auch möglich, diese Mieter mit dezentral erzeugter Energie zu versorgen. Überschüssiger Strom wird dabei

¹³ Vgl. o.A. (o.J.): Statistiken zum Wohnen in Deutschland. Hg. v. Statista GmbH, online verfügbar unter <https://de.statista.com/themen/51/wohnen/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

in das öffentliche Netz eingespeist. Der Vollstromversorger kauft Zusatzstrom ein, welcher bei einer Wartung der Anlage oder zu Spitzenlasten nicht bereitgestellt werden kann. In dem folgenden Schema wird dies noch einmal verdeutlicht.

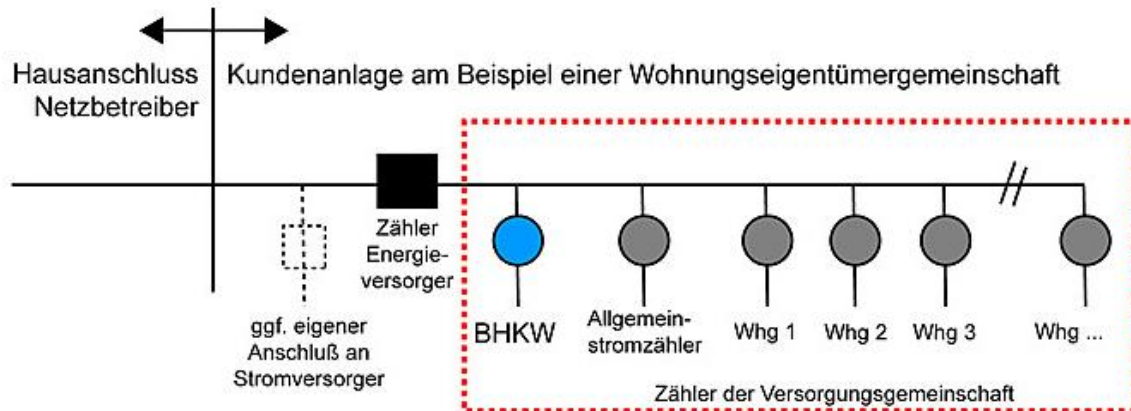


Abbildung 06: Schema Mieterstrom mit BHKW (Quelle: solares bauen GmbH; bhkw-jetzt.de)

Für die Belieferung mit Strom schließen der Anlagenbetreiber und der Mieter ein Stromliefervertrag ab. Dadurch können beide Parteien gleichermaßen profitieren. Für den Mieter sinken die Strombezugsnebenkosten und er macht sich gleichzeitig unabhängig von der allgemeinen Strompreisentwicklung. Ein weiteres wichtiges Argument ist, dass der Mieter den dezentralen Ausbau umweltfreundlicherer Energien unterstützt. Der Vermieter profitiert dabei durch monetäre Einkünfte und steigert gleichzeitig auch den Wert seiner Immobilie. Die höchsten Mehrwerte werden bei der Direktlieferung an den Mieter erzielt, weil alle Umlagen und Steuern entfallen. Nur die EEG-Umlage muss abgerechnet werden. Somit ist ein Mieterstrommodell sowohl für Mieter als auch für den Vermieter ein sehr interessantes Konzept.

2.1.5 Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf (Q_P) beinhaltet zusätzlich zum Energiebedarf eines Energieträgers alle Energiemengen die in vorherigen Prozessen benötigt wurden. Dies sind Energieverluste, welche bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung entstehen.¹⁴

¹⁴ Vgl. o.A. (o.J.): Primärenergiebedarf, Hg. v. BauNetz Media GmbH, online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/primaerenergiebedarf-664168>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Der Primärenergiefaktor (f_P) gibt dabei das Verhältnis der eingesetzten Primärenergie zur bereitgestellten Endenergie (Q_E) an.¹⁵

$$f_P = \frac{Q_P}{Q_E} \quad (02)$$

Durch den Primärenergiefaktor ist es möglich, verschiedene Endenergiearten zu vergleichen. Je kleiner der Primärenergiefaktor, desto effizienter wurde die Endenergie bereitgestellt. Dabei setzt er sich aus dem erneuerbaren Energieanteil und dem nicht erneuerbaren Energieanteil zusammen. Für die primärenergetische Bewertung von Gebäuden nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) sind lediglich die Werte der nicht erneuerbaren Anteile zu verwenden.¹⁶

Für die erste Variante (Wärmeversorgung durch eine Fernwärmanlage) kann laut der Internetseite von Vattenfall für das Fernwärmenetz Berlin ein durchschnittlicher Primärenergiefaktor von 0,56 angenommen werden.¹⁷

Die Varianten zwei drei und vier werden nach dem „Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1“ berechnet. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) ist ein Verband von deutschen Fernwärme- und Heizkraftwerksbetreibern. Seine Aufgabe ist diese Unternehmen in den Bereichen Technik, Betriebswirtschaft, Arbeitssicherheit und Recht zu unterstützen. Durch diese Berechnungsgrundlage ist es möglich, den Primärenergiebedarf der einzelnen Varianten zu berechnen. Das Arbeitsblatt der AGFW gibt die Formel¹⁸ für die dritte Variante vor, da bei der folgenden Formel nur ein BHKW berechnet wird:

¹⁵ Vgl. Aldehoff, Larissa (2016): Primärenergiefaktor und -bedarf, Hg. v. Klimaköner GmbH, online verfügbar unter <https://www.klimakoener.de/blog/primaerenergiefaktor>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

¹⁶ Vgl. o.A. (2015): Primärenergiefaktoren, Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., online verfügbar unter [https://www.bdew.de/inter-net.nsf/id/06fbc70ecf24f3a7c1257e51003da425/\\$file/705_2015-04-22_grundlagenpapier-primaerenergiefaktoren.pdf](https://www.bdew.de/inter-net.nsf/id/06fbc70ecf24f3a7c1257e51003da425/$file/705_2015-04-22_grundlagenpapier-primaerenergiefaktoren.pdf), S. 15, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

¹⁷ Vgl. o.A. (o.J.): Bestwerte bei der Energieeffizienz, Hg. v. Vattenfall Europe Wärme AG, online verfügbar unter <https://www.vattenfall.de/de/geschaeftskunden-waerme-berlin-primaerenergiefaktor.htm>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

¹⁸ Vgl. o.A. (o.J.): EnEV und Fernwärme, Hg. v. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., online verfügbar unter <https://www.agfw.de/erzeugung/energetische-bewertung/enev-und-fernwaerme/>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

$$f_{P,WA} \text{ (Variante 3)} = \frac{(1 + \sigma) * \alpha_{KWK} * f_{P,BR}}{\zeta_{ne,KWK} * \zeta_{HN}} + \frac{\alpha_{th} * f_{P,BR}}{\zeta_{ne th} * \zeta_{HN}} - \frac{(\sigma * \alpha_{KWK} - \alpha_{HN}) * f_{P,verdr}}{\zeta_{HN}} \quad (03)$$

Primärenergiefaktor der Fernwärme	$f_{P,FW}$
KWK-Deckungsanteil/ SLK-Deckungsanteil	$\alpha_{KWK} / \alpha_{th}$
Hilfsstrom A_{HN} / Gesamtwärmebedarf Q_{bn}	α_{HN}
Nutzungsgrad des Heiznetzes	ζ_{HN}
Nutzungsgrad KWK-Anlage/ Brennwertkessel	$\zeta_{ne,KWK} / \zeta_{ne th}$
Primärenergiefaktor des Brennstoffes	$f_{P,BR}$
Primärenergiefaktor Strom	$f_{P,verdr}$

Die Stromkennzahl wurde im Kapitel 2.1.3.2 genauer erläutert. Der KWK-Deckungsanteil gibt den Anteil der erzeugten Wärmemenge am gesamten Nutzwärmebedarf an. Hilfsstrom wird benötigt um z. B. Pumpen und andere für die Wärmeversorgung benötigte Vorrichtungen mit Strom zu versorgen. Dieser Strom hat auch einen Primärenergieverbrauch. Der Faktor α_{HN} wird aus der Division des Hilfsstroms mit dem Gesamtwärmebedarf berechnet. Die Nutzungsgrade des Spitzenlastkessels, der KWK-Anlage und des Nahwärmenetzes ergeben sich aus dem jeweiligen Verhältnis der nutzbar gemachten Energie zur zugeführten Energie. Die Nutzungsgrade des Spitzenlastkessels und des BHKWs werden aus dem Datenblatt der jeweiligen Hersteller entnommen. Der Nutzungsgrad des Wärmenetzes beträgt 0,85. Das Wärmenetz hat 15% Wärmeverlust, dadurch wird nur von der zugeführten Wärme 85% nutzbar gemacht. Die einzelnen Primärenergiefaktoren könne aus dem Anhang 1 entnommen werden.

Da die zweite Variante kein BHKW enthält, fällt der erste und dritte Teil der Formel weg.

$$f_{P,WA} \text{ (Variante 2)} = \frac{\alpha_{th} * f_{P,BR}}{\zeta_{ne th} * \zeta_{HN}} \quad (04)$$

Für die vierte Variante muss der Primärenergiefaktor beider BHKWs berechnet werden. Deshalb wird der erste und dritte Teil der Formel jeweils für ein BHKW berechnet.

$$f_{P,WA} \text{ (Variante 4)} = \frac{(1 + \sigma) * \alpha_{KWK} * f_{P,BR}}{\zeta_{ne,KWK} * \zeta_{HN}} + \frac{\alpha_{th} * f_{P,BR}}{\zeta_{ne th} * \zeta_{HN}} - \frac{(\sigma * \alpha_{KWK}) * f_{P,verdr}}{\zeta_{HN}} + \frac{(1 + \sigma) * \alpha_{KWK} * f_{P,BR}}{\zeta_{ne,KWK} * \zeta_{HN}} - \frac{(\sigma * \alpha_{KWK} - \alpha_{HN}) * f_{P,verdr}}{\zeta_{HN}} \quad (05)$$

Der Primärenergiebedarf kann als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z.B. für die CO₂-Emission, herangezogen werden, da der gesamte Energieaufwand

und nicht nur der innerhalb des Gebäudes benötigte Energieaufwand mit einbezogen wird.¹⁹

2.1.6 Kohlenstoffdioxidemissionen

Durch die unterschiedliche Zusammensetzung von Energieträgern werden bei der Umwandlung von chemischer in thermische Energie unterschiedlich große Kohlenstoffdioxidemissionen freigesetzt. Jeder Energieträger hat einen anderen Kohlenstoffdioxidgehalt. Ein Emissionsfaktor schafft deshalb eine Vergleichbarkeit. Je kleiner der Emissionsfaktor, desto weniger Gramm CO₂ stößt der Energieträger je Kilowattstunde aus. Die CO₂-Emissionsfaktoren werden für jeden Energieträger einzeln bestimmt. Neben dem CO₂-Gehalt des Energieträgers werden auch Emissionen der Vorketten (Förderung, Aufbereitung, Transport und Umwandlung) mit eingerechnet.²⁰

Das AGFW-Arbeitsblatt „FW 309 Teil 6 vom Juni 2016“ gibt eine Anleitung, Kohlenstoffdioxidemissionen zu berechnen.²¹

Grundlegend ist zu sagen, dass sich alle Werte in der Berechnung auf eine Zeit beziehen, in der die Hilfsenergie und die eingespeiste Wärme bzw. der eingespeiste Strom verbraucht werden. Des Weiteren werden die einzelnen CO₂-Emissionsfaktoren als Durchschnittswerte aus dem AGFW-Arbeitsblatt angenommen.

Im ersten Schritt erfolgt die Berechnung der CO₂-Emissionen der Wärme, die in ein Wärmenetz eingespeist wird. Dabei wird der CO₂-Emissionsfaktor des Brennstoffes Gas mit der Gesamtwärmemenge eines Jahres multipliziert.

$$E_{WEEx} = f_{WE} \cdot Q_{WE} \quad (06)$$

E_{WEEx} CO₂-Emissionen aller Wärmenetzeinspeisungen

f_{WE} CO₂-Emissionsfaktor der Wärmenetzeinspeisung

Q_{WEEx} Wärmenetzeinspeisung x der Wärmeerzeugungsanlage der Berichtsperiode

¹⁹ Vgl. o.A. (o.J.): Primärenergiebedarf, Hg. v. BauNetz Media GmbH, online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/primaerenergiebedarf-664168>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

²⁰ Vgl. o.A. (o.J.): CO₂-Emissionsfaktoren, Hg. v. Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, online verfügbar unter <http://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

²¹ Vgl. o.A. (o.J.): Ziele und Aufgaben, Hg. v. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., online verfügbar unter <https://www.agfw.de/wir-ueber-uns/ziele-und-aufgaben/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Darüber hinaus wird jedoch auch bei Hilfsanlagen, welche zum Beispiel Pumpen und andere technische Vorrichtungen sein können, Energie benötigt. Da beim Prozess der Herstellung des Stroms Kohlenstoffdioxid entsteht, wird dieser Verbrauch mit einem CO₂-Emissionsfaktor multipliziert und mit einberechnet.

$$E_{\text{HEX}} = A_{\text{HEX}} \cdot f_{\text{Hex}} \quad (07)$$

E_{Hex} CO₂-Emissionen des im Zusammenhang mit der Wärmeerzeugung eingesetzten Hilfsstromes

A_{Hex} für Hilfsanlagen in der Wärmeerzeugung oder im Wärmenetz erforderlicher Stromeinsatz

f_{Hex} CO₂-Emissionsfaktor des bezogenen Stroms

Um die gesamten CO₂-Emissionen der einzelnen Varianten zu berechnen, werden im letzten Schritt die CO₂-Emissionen der Wärmeanlage mit den CO₂-Emissionen der Hilfsenergieanlagen addiert.

Für Variante 1 und Variante 2 geschieht dies mit folgender Formel.

$$E_{\Sigma \text{WE}} = \sum_{x=1}^n E_{\text{WEX}} + \sum_{x=1}^m E_{\text{HEX}} \quad (08)$$

$E_{\Sigma \text{WE}}$ CO₂-Emissionen aller Wärmenetzeinspeisungen in einen Bilanzkreis in einer Berichtsperiode

E_{WEX} CO₂-Emissionen aller Wärmenetzeinspeisungen

E_{Hex} CO₂-Emissionen des im Zusammenhang mit der Wärmeerzeugung eingesetzten Hilfsstromes

In Anlehnung an den Primärenergiefaktor können für die Varianten 3 und 4 CO₂-Emissionsgutschriften gegengerechnet werden. Emissionsgutschriften werden mit folgender Formel berechnet:

$$E_{\text{Sex}} = f_{\text{SE}} \cdot Q_{\text{Sex}} \quad (09)$$

E_{Sex} CO₂-Emissionsgutschrift der Stromeinspeisung

f_{SE} CO₂-Emissionsfaktor des Stroms

Q_{Sex} Stromnetzeinspeisung x der Stromerzeugungsanlage in einer Berichtsperiode

Dabei wird der CO₂-Emissionsfaktor des Stromes mit der gesamten Netzeinspeisung der Stromerzeugungsanlage eines Jahres multipliziert.

Um die gesamten CO₂-Emissionen dieser zwei Varianten zu bestimmen, muss die Emissionsgutschrift des Stromes von den gesamten Emissionen der Wärmenetzeinspeisung abgezogen werden. Dazu werden die Emissionen der Hilfsenergieanlagen addiert.

$$E_{\Sigma WE} = E_{WEEx} - E_{SEEx} + E_{HEEx} \quad (10)$$

$E_{\Sigma WE}$ CO₂-Emissionen aller Wärmenetzeinspeisungen in einen Bilanzkreis in einer Berichtsperiode

E_{WEEx} CO₂-Emissionen der Wärmenetzeinspeisung

E_{SEEx} CO₂-Emissionsgutschrift der Stromeinspeisung

E_{HEEx} CO₂-Emissionen der Hilfsenergieanlagen 1 bis m des Bilanzkreises

Mit den Endwerten aller vier Varianten ist es möglich, einen Kohlenstoffdioxidvergleich der einzelnen Energieerzeugungsarten vorzunehmen.²²

2.2 Wirtschaftliche Grundlagen

In den wirtschaftlichen Grundlagen wird die Kennzahl Eigenkapitalrentabilität und für weitere Berechnungen das verwendete Excel-Tool erklärt. Darüber hinaus werden die rechtlichen Grundlagen und Förderungen, welche zur Unterstützung bei der im Punkt 4 beschriebenen Ermittlung der Kennzahlen dienen, erläutert.

2.2.1 Eigenkapitalrentabilität und Gewinnberechnung

Die Kennzahl Eigenkapitalrentabilität wird auch als Eigenkapitalrendite bezeichnet. Für das Projekt werden die einzelnen Varianten nach dieser Kennzahl verglichen. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis von Gewinn (Jahresüberschuss) zum Eigenkapital.²³

²² Vgl. o.A. (o.J.): Energetische Bewertung, Hg. v. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., online verfügbar unter <https://www.agfw.de/erzeugung/energetische-bewertung/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

²³ Vgl. Wildt, Alexander (2017): Eigenkapitalrentabilität, Hg. v. reimus.NET GmbH, online verfügbar unter <https://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/Kennzahlen/Eigenkapitalrent.html>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

Die Eigenkapitalrentabilität wird mit dieser Formel berechnet:

$$\text{Eigenkapitalrentabilität (in \%)} = \frac{\text{Jahresüberschuss}}{\text{Eigenkapital}} \times 100 \quad (11)$$

Der Jahresüberschuss der einzelnen Varianten wird durch die Gewinn- und Verlustrechnung berechnet. Die Hauptformel dafür ist:

$$\text{Jahresüberschuss} = \text{Erlöse} - \text{Kosten} \quad (12)$$

Die Erlöse der einzelnen Varianten sind dabei die Erträge, welche durch die Energiekonzepte entstehen. Dies sind thermische und elektrische Erlöse, die durch den Verkauf der Wärme oder des Stromes anfallen. Darüber hinaus werden bei den Erlösen Förderungen und Zuschüsse mit eingerechnet. Zu den Kosten werden alle Kosten gezählt, die aufgrund der Varianten entstehen oder entstanden sind, dies umfasst alle Investitions-, Verbrauchs- und Betriebskosten. Die Jahresüberschüsse werden für jedes Jahr einzeln berechnet, deshalb ist es wichtig, die Investitionskosten auf den Betrachtungszeitraum von fünfzehn Jahren aufzuteilen. Auch Steuern werden als Kosten mit eingerechnet.

Durch die Berechnung des Gewinns der einzelnen Varianten wird gezeigt, wie wirtschaftlich diese sind. Mit der Rentabilitätsberechnung wird so das Verhältnis zum eingesetzten Eigenkapital (EK) dargestellt. Diese beiden Berechnungen werden im Tool für jedes einzelne der fünfzehn Jahre durchgeführt, um einen vollständigen Finanzplan (VOFI) zu erhalten. Dadurch wird sichtbar, wie sich das eingesetzte Kapital über die Laufzeit von fünfzehn Jahren rentiert.

2.2.2 Erklärung Tool

Zur Unterstützung bei der Berechnung der Primärenergiefaktoren, der CO₂-Emissionen und der Eigenkapitalrentabilität wird ein Excel-Tool der HOWOGE Wärme GmbH verwendet. Das Tool benutzt dieselben Formeln zur Berechnung der Kennzahlen, welche in den Grundlagen beschrieben werden. Durch Eintragen der gegebenen Werte kann das Tool die Berechnungen automatisiert ausführen. Aufgrund der Komplexität des Tools wird auf weitere Erläuterung verzichtet.

2.2.3 Rechtliche Grundlagen

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

„Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“

Das KWKG trat erstmals im Jahr 2002 in Kraft und wurde seitdem mehrmals überarbeitet. Die aktuellste Fassung ist das „KWKG 2016“. Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz unterstützt die Erhöhung der Nettostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf 110 Terawattstunden bis zum Jahr 2020 sowie auf 120 Terawattstunden bis zum Jahr 2025. Dies soll dem Umwelt- und Klimaschutz dienen.²⁴ Das Gesetz fördert den Erhalt, die Modernisierungen und den Ausbau von KWK-Anlagen. Auch Nahwärme- und Kältenetze werden gefördert sowie Wärme- und Kältespeicher. Die Voraussetzungen für eine Förderung legt das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fest. Auch ob eine Anlage einen KWK-Zuschlag bekommt, bestimmt das BAFA. Die Höhe des Zuschlages richtet sich nach dem elektrischen Leistungsanteil. Darüber hinaus bekommen auch Kohleersatzanlagen und KWK-Anlagen, deren Besitzer dem Treibhausgasemissionshandelsgesetz (TEHG) unterstehen, einen weiteren Bonus je Leistungsgruppe. Die einzelnen Zuschläge können aus der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 02: Fördersätze BAFA (Quelle: Eigene Darstellung)

KWK- Leistungsanteil	KWKG 2017 Netzeinspeisung	KWKG 2017 Förderung für Verteilnetze oder Kundenanlagen
< 50 kWel	8 ct/kWh	4 ct/kWh
< 100 kWel	6 ct/kWh	3 ct/kWh
< 250 kWel	5 ct/kWh	2 ct/kWh
< 2 MWel	4,4 ct/kWh	1,5 ct/kWh
> 2 MWel	3,1 ct/kWh	
TEHG-Bonus	+ 0,3 ct/kWh	
Kohleersatz-Bonus	+ 0,6 ct/kWh	

²⁴ Vgl. o.A. (2015): Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG, Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/KWKG.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

Für das Jahr 2017 wurde eine KWKG-Umlage für jede Kilowattstunde (kWh) Strom von 0,438 Cent ermittelt. Das gilt für alle Verbraucher, die weniger als eine Gigawattstunde Strom pro Jahr beziehen. Diese werden auch als nicht privilegierte Letztverbraucher bezeichnet.²⁵ Das eingenommene Geld wird für die Förderung von Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen verwendet²⁶.

Energieeinsparverordnung (EnEV)

„Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden“

Das Ziel der Einsparung von Energie in Gebäuden hat sich die EnEV als Hauptaufgabe gesetzt. Die Verordnung soll dazu beitragen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, insbesondere die Schaffung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes bis zum Jahr 2050, erreicht werden.²⁷ In der Verordnung werden Anforderungen festgelegt, die beim Neubau oder bei Modernisierungen eines bestehenden Gebäudes erfüllt werden müssen. Durch den Primärenergiebedarf (Q_P) und den Transmissionswärmeverlust (H_T) wird dies nachgewiesen. Auch der sommerliche Wärmeschutz muss nach EnEV Anlage 1, Nummer 3 erbracht werden.²⁸ Des Weiteren werden Anforderungen an die technischen Anlagen gestellt. Diese Punkte werden stichprobentechnisch überprüft, bei Verstoß gegen die Energieeinsparverordnung wird ein Bußgeld erteilt.

²⁵ Vgl. o.A. (o.J.): KWKG-Aufschlag 2017, Hg. v. Amprion GmbH, online verfügbar unter <https://www.amprion.net/Strommarkt/Abgaben-und-Umlagen/KWK-G/KWK-Aufschlag-2017.html>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

²⁶ Vgl. o.A. (o.J.): KWKG-Umlage, Hg. v. Amprion GmbH et al., online verfügbar unter <https://www.netztransparenz.de/KWKG/Aufschlaege-Prognosen>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

²⁷ Vgl. o.A. (o.J.): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, online verfügbar unter http://www.ea-tut.de/wp-content/uploads/2015/09/EnEV_2014_Juris.pdf, §1, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

²⁸ Vgl. o.A. (o.J.): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, online verfügbar unter http://www.ea-tut.de/wp-content/uploads/2015/09/EnEV_2014_Juris.pdf, S.29, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

3. Auslegung der Varianten

In diesem Punkt wird die Auslegung der vier verschiedenen Varianten erklärt, um im Kapitel vier die Kennzahlen jedes einzelnen Energiekonzeptes zu berechnen. Zuerst wird die technische und wirtschaftliche Ausgangssituation erläutert. Im Anschluss wird der Gesamtjahreswärmebedarf berechnet, welcher für die Auslegung der Varianten drei und vier wichtig ist. Darüber hinaus wird bei diesen beiden Varianten ein Strombedarf benötigt, um die Erlöse des Mieterstrommodells im Wirtschaftlichkeitstool zu kalkulieren. Folgend wird die Auslegung der einzelnen Varianten erklärt.

3.1 Ausgangssituation

Laut der Honorarordnung für Architekten- und Ingenieure (HOAI) gibt es neun verschiedene Leistungsphasen.²⁹ Bei diesem Projekt sind die ersten beiden Leistungsphasen die Grundlagenermittlung und die Vorplanung und Kostenschätzung schon abgeschlossen. Die HOAI sichert den Architekten und Ingenieuren ein auskömmliches Honorar und den Bauherren die Qualität der Bauplanung, Ausschreibung, Vergabe und Objektüberwachung.³⁰ Die im Folgenden verwendeten Daten wurden in den ersten zwei Leistungsphasen ermittelt.

3.1.1 Technische Ausgangssituation

Die ermittelten Daten werden für die Berechnung der Kennzahlen für die Varianten 3 und 4 benötigt.

Tabelle 03: Technische Daten (Quelle: Eigene Darstellung)

technische Daten	
Leitungskosten	580.200 €
Wärmeverlust	15 %
Vorlauftemperatur	90 °C
Rücklauftemperatur	50 °C

²⁹ Vgl. o.A. (o.J.): Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) § 34 Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/hoai_2013/__34.html, zuletzt geprüft am 05.07.2017.

³⁰ Vgl. o.A. (o.J.): Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, Hg. v. Einbock GmbH, online verfügbar unter <http://www.juraforum.de/lexikon/honorarordnung-fuer-architekten-und-ingenieure>, zuletzt geprüft am 05.07.2017.

Diese zwei Varianten umfassen ein Nahwärmenetz und eine zentrale Energieanlage. Übergabepunkte des Projektes sind Kugelhähne die zwischen dem Nahwärmenetz und den Hausunterstationen angebracht werden. Für die einzelnen Hausunterstationen sind die jeweiligen Wohnungsbauunternehmen selbst zuständig und übernehmen die Wartungs- und Instandhaltungskosten.

Die zentrale Wärmanlage erwärmt das Leitungsmedium Wasser auf 90°C und speist dieses in den Vorlauf des Wärmenetzes ein. In den Hausunterstationen wird die Wärme durch Wärmetauscher an den Heizkreis (HK) und Trinkwarmwasserkreis (TWW) übertragen. Die Restwärme des Wassers, welche aus dem Wärmetauscher in den Rücklauf der Trasse fließt, beträgt nun nur noch 50°C.

Wegen dem großen Verteilnetz von 1.680 Meter, welches jedes der zwanzig Häuser versorgt, wurden Wärmeverluste in Höhe von fünfzehn Prozent auf den Gesamtjahresverbrauch an Wärme aufgeschlagen. Des Weiteren wird zusätzlich zum Nahwärmenetz, welches ein Vorlauf- und Rücklaufrohr enthält, noch ein Stromkabel für den Mieterstrom installiert. Daraus ergeben sich die Leitungskosten in Höhe von 675.000,00 €.

3.1.2 Wirtschaftliche Ausgangssituation

Da gegenwärtig Gaskessel und Gasetagenheizungen die Wärme- und Trinkwasserversorgung dezentral bereitstellen, jedoch diese sich in einem nicht zeitgemäßen Zustand befinden, ist der Betrieb dieser Anlagen momentan mit sehr hohen Kosten verbunden. Diese Kosten sollen durch ein neues Energiekonzept gesenkt werden und gleichzeitig mit Kohlenstoffdioxid-Einsparungen einhergehen.

Für die wirtschaftliche Betrachtung der Varianten 3 und 4 werden Erfahrungswerte der HOWOGE Wärme GmbH angenommen.

Tabelle 04: Bezeichnung (Quelle: Eigene Darstellung)

Wirtschaftlichkeitstool Erfahrungswerte	
Spezifischer Strombedarf	25 kWh/m²*a
Mieterstromerreichbarkeit bei den Bewohnern	80%

Der produzierte Strom des BHKW wird für ein Mieterstromkonzept genutzt. Dabei wird in der Wirtschaftlichkeitsberechnung davon ausgegangen, dass 80% aller Mieter den hauseigenen Stromvertrag der HOWOGE Wärme GmbH abschließen. Der Stromvertrag der HOWOGE Wärme GmbH ist zum derzeitigen Stand einer der preiswertesten Stromverträge auf dem Strommarkt Berlins.

Der elektrische Verbrauch der Haushalte ist nur sehr schwer zu bestimmen, da er sehr von dem Nutzerverhalten abhängig ist. Da die HOWOGE Wärme GmbH derzeit nur als Wärmeversorger operiert, sind keine genauen Daten vorhanden. Es wurde jedoch eine Stromverbrauchsbefragung von 224 Mietern innerhalb der HOWOGE Wohnungsgesellschaft durchgeführt. Dabei wurde ein durchschnittlicher Verbrauch von 1.650 kWh/a ermittelt. Die durchschnittliche Fläche einer Wohneinheit beläuft sich auf 74 m², demzufolge wäre der Strombedarf pro Quadratmeter pro Jahr 22,3 kWh. Für weitere Berechnungen wird aufgrund von höher erwarteten Verbräuchen von 25 kWh pro Quadratmeter im Jahr ausgegangen.

3.1.3 Erklärung der Varianten

Bei der Entscheidung für ein Energiekonzept des Wohngebietes werden mehrere Varianten in Betracht gezogen (vgl. 1.1 Aufgabenstellung). Diese wurden in den ersten beiden Leistungsphasen der HOAI festgelegt. Damit soll ein Vergleich geschaffen werden. Für die erste Variante wurde das Vattenfall Fernwärmenetz betrachtet und ein Angebot der Vattenfall Europe Wärme AG eingeholt. Damit wurden Daten für die Berechnung der einzelnen Kennzahlen dieser Variante besorgt. Die zweite Variante beinhaltet eine Modernisierung der Bestandsanlagen. Das Interesse der HOWOGE Wärme GmbH besteht darin, einen Vergleich zu ziehen, ob eine Modernisierung der Anlagen aus dem Bestand Vorteile gegenüber dem Anschluss an das Fernwärmenetz bringt. Darüber hinaus soll ein Vergleich zu der Bereitstellung der Wärme und des Stromes durch KWK-Anlagen gezogen werden. Bei der dritten und vierten Variante wurde ein Termin mit einem Blockheizkraftwerke-Anbieter der 2G Energietechnik GmbH vereinbart. In diversen Gesprächen wurden Varianten drei und vier separat ausgearbeitet. Durch die Festlegung der vier Varianten war es nun möglich, diese einzeln auszulegen. Dafür wird jedoch der Energiebedarf benötigt. Im Folgenden wird dieser berechnet und erklärt.

3.2 Ermittlung des Energiebedarfs

Der Jahreswärmebedarf der einzelnen Varianten ist unterschiedlich, da die Varianten 1 und 2 ein dezentrales Energiekonzept beinhalten und die Varianten 3 und 4 ein zentrales Konzept. Deshalb fallen hierbei höhere Wärmeverluste an. Darüber hinaus wird für diese beiden Varianten ein Gesamtstrombedarf der zwanzig Mehrfamilienhäuser ermittelt. Dieser wird für die Berechnung der Erlöse und Kosten, welche aus dem Mieterstrommodell dieser zwei Varianten entstehen, benötigt.

3.2.1 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf des Gesamtprojektes lässt sich mit Hilfe der Daten aus einer Wärmezählerauslesung berechnen. Allgemein muss jedoch gesagt werden, dass entgegen einem berechneten Wärmebedarf der reale Wärmebedarf vom Verhalten der Nutzer und den klimatischen Gegebenheiten abhängt. Da jedoch 688 Wohneinheiten betrachtet werden, verändert sich der Durchschnitt nur minimal. Bei der Wärmezählerauslesung wurden Werte der Heizung und des Trinkwarmwassers von den zwei Mehrfamilienhäusern der HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH ermittelt. Anhand dieser Werte konnten Monatsverbräuche des gesamten Projekts einschließlich der Wärmeverluste ermittelt werden. Anhand des folgenden Diagramms werden die unterschiedlichen Wärmeverbräuche der einzelnen Monate für das Jahr 2016/17 ersichtlich.

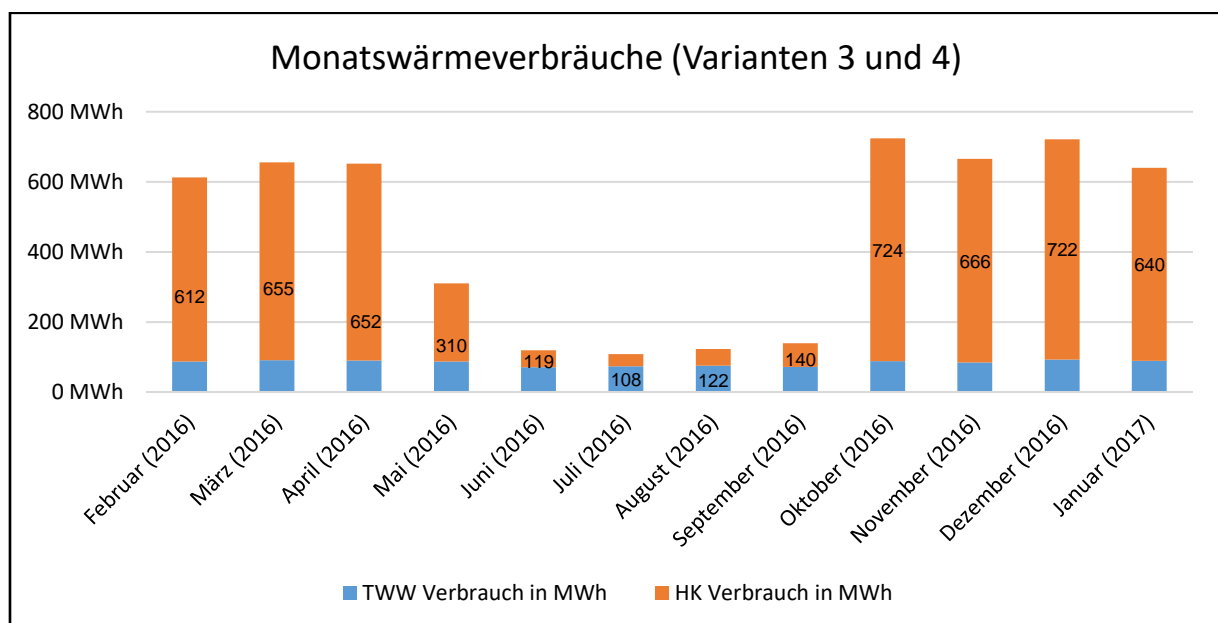


Abbildung 07: Monatswärmeverbrauch der Varianten 3 und 4 (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Abbildung 7 zeigt typische monatliche Verbräuche eines Mehrfamilienhauses. Das Ende der Heizperiode 2016 ist im Mai und der Anfang der nächsten Heizperiode ist im Oktober. In den Sommermonaten ist die Heizung meist ausgeschaltet, da die Raumtemperatur der einzelnen Wohnungen über der benötigten liegt. Die Graphische Darstellung der Umrechnung der Verbrauchswerte pro Tag in Wärmeleistung wird als Jahresdauerlinie bezeichnet. Die Abszissenachse gibt dabei die Tage an und die Ordinate die Leistung. Um eine Jahresdauerlinie zu erhalten, müssen die einzelnen aufgetretenen Leistungen des Bezugsjahres nach der Größe geordnet werden. Der Tag mit dem höchsten Wärmeverbrauch benötigte eine Wärmeleistung von 1.437 kW. Demzufolge benötigten 365 Tage des Jahres mindestens eine Leistung von 93 kW. Nach diesem Diagramm werden BHKWs ausgelegt. Jedoch ist es nicht möglich, Gasbrennwertkessel nach diesem Diagramm auszulegen, da es nur die durchschnittliche Leistung eines Tages anzeigt und nicht die Spitzenleistung. Aufgrund der Legionellen-Problematik ist zur Einhaltung gesetzlicher Standards der Trinkwarmwasserhygiene eine Mindesttemperatur des Trinkwarmwassers von 60°C vorgeschrieben. Deshalb findet ein täglicher Wärmeverbrauch statt, um diese Temperatur zu erhalten. Die Jahresdauerlinie fällt demzufolge an keinem Tag auf Null.

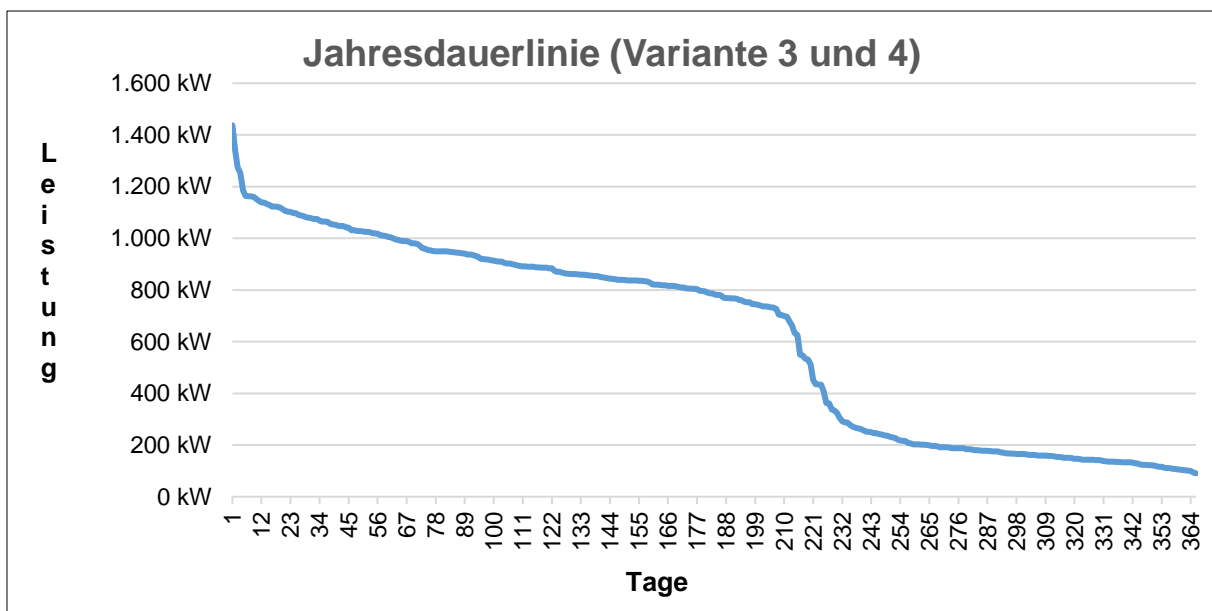


Abbildung 08: Jahresdauerlinie Varianten 3 und 4 (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch das Auslesen der Wärmezähler aus zwei Mehrfamilienhäusern kann durch eine Berechnung ein Wärmebedarf des gesamten Projektes ermittelt werden. Alle Häuser

haben dieselbe Bauart und wurden in dem gleichen Jahr modernisiert (vgl. 1.3 Vorstellung des Projektes). Der ausgelesene Wärmebedarf wird durch die summierte beheizte Fläche der beiden ausgelesenen Mehrfamilienhäuser geteilt, um einen spezifischen Wärmebedarf zu erhalten, da die Raumaufteilung in den einzelnen Gebäuden unterschiedlich ist und nicht alle Häuser dieselbe beheizte Wohnfläche besitzen. Bei den Varianten 3 und 4 werden zusätzlich 15% Wärmeverluste eingerechnet. Diese entstehen aufgrund der Verluste in der Wärmezentrale, in den Wärmeübergabestationen und im Nahwärmenetz. Der spezifische Jahreswärmebedarf gibt den Wärmebedarf pro Quadratmeter in einem Jahr an und ist für die vier Varianten in dem folgenden Diagramm abgebildet.

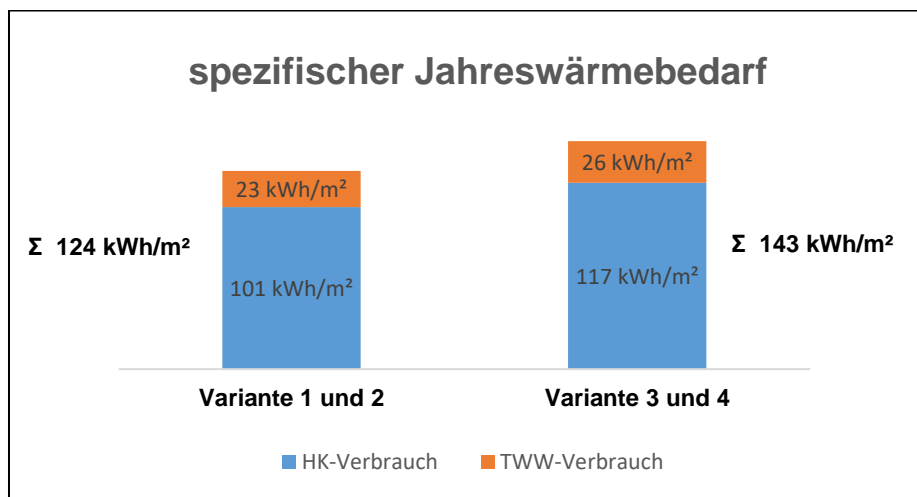


Abbildung 09: Spezifischer Jahreswärmebedarf (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieser spezifische Jahreswärmebedarf der Varianten wird mit der gesamten beheizten Fläche multipliziert. Dadurch wird der Jahreswärmebedarf des gesamten Projektes berechnet.

Tabelle 05: Berechnung des spezifischen Jahreswärmebedarfs und die Berechnung des gesamten Jahreswärmebedarfs der vier Varianten (Quelle: Eigene Darstellung)

	beheizte Wohnfläche	spezifischer Jahreswärmebedarf	Jahreswärmebedarf
Variante 1 und 2	38.313 m ²	124,18 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$	4.758 $\frac{\text{MWh}}{\text{a}}$
Variante 3 und 4	38.313 m ²	142,80 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$	5.471 $\frac{\text{MWh}}{\text{a}}$

Mit dieser Berechnung werden sehr schnell plausible Werte erhalten, die zur Auslegung und der anschließenden Kostenplanung genutzt werden können.

3.2.2 Strombedarf

Der Strombedarf der zwanzig Mehrfamilienhäuser wird durch einen typischen Stromverbrauch pro Quadratmeter, wie im Kapitel 3.1.2 beschrieben, auf das Gesamtprojekt berechnet. Der Strombedarf ist auch vom Nutzerverhalten abhängig, da er durch Faktoren wie Zeitspanne des Stromverbrauchs eines Gerätes oder dessen elektrische Leistung verändert werden kann. Ein guter Richtwert ist deshalb 25 Kilowattstunden pro Quadratmeter pro Jahr (vgl. 3.1.2 Wirtschaftliche Ausgangssituation). Wird dieser Wert mit der gesamten Wohnfläche multipliziert, erhält man den Strombedarf pro Jahr.

$$\text{Gesamtstrombedarf} = 25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} * 38.313 \text{ m}^2 = \mathbf{957.825 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}} \quad (13)$$

Es wird vorausgesetzt das 80% aller Mieter der 20 Mehrfamilienhäuser den Stromvertrag der HOWOGE Wärme annehmen. Demnach beträgt der **Strombedarf des Mieterstrommodells 780.660 Kilowattstunden pro Jahr.**

3.3 Auslegung Variante 1 „Fernwärme“

Fernwärmeanlagen werden nach der Spitzenleistung ausgelegt. Dadurch wird auch am kältesten Tag des Jahres gewährleistet, dass genug Wärme für den Trinkwarm- und Heizwasserbedarf zur Verfügung steht. Diese Leistung wird für jedes Haus einzeln benötigt. Normalerweise wird eine Heizlastberechnung durchgeführt, um die Heizleistung (Spitzenleistung) zu berechnen, die zur Erhaltung einer bestimmten Raumtemperatur eines Gebäudes benötigt wird. In den ersten zwei Leistungsphasen nach der HOAI ist eine Heizlastberechnung in dem Stadium des Projektes nicht erforderlich.

Deshalb wird die Spitzenleistung berechnet, indem der Jahreswärmebedarf der Mehrfamilienhäuser durch die Vollbenutzungsstunden (VBh) pro Jahr der Wärmeanlagen geteilt wird. Ein Erfahrungswert für eine sichere und effiziente Wärmeversorgung sind dabei 1.800 VBh. Um den Jahreswärmebedarf jedes Hauses zu ermitteln wird der Wärmebedarf für jedes einzelne Gebäude berechnet. Der spezifische Jahreswärmebedarf mit $124,18 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$ wird dafür mit der beheizten Fläche jedes einzelnen Gebäudes multipliziert. Im letzten Schritt werden die einzelnen Jahreswärmebedarfe durch die 1.800 VBh geteilt, um eine sichere Wärmeversorgung zu gewährleisten.

In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Mehrfamilienhäuser mit der jeweiligen Wärmeleistung aufgelistet.

Tabelle 06: Auslegung Fernwärme (Quelle: Eigene Darstellung)

Haus Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jahreswärmebedarf	224.890 kWh	257.549 kWh	259.412 kWh	265.497 kWh	265.621 kWh	262.020 kWh	262.020 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	262.020 kWh
Soll Anlagenwärmeleistung	125 kW	143 kW	144 kW	147 kW	148 kW	146 kW	146 kW	125 kW	125 kW	146 kW

Haus Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Jahreswärmebedarf	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.642 kWh	225.387 kWh	224.642 kWh	224.890 kWh
Soll Anlagenwärmeleistung	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW	125 kW

Die **Gesamtleistung aller zwanzig Fernwärmeanlagen beträgt 2.643 kW**. Durch Speicher ist es möglich, die jeweiligen Wärmebedarfsspitzen auszugleichen und somit die benötigte Spitzenleistung zu senken. Dies ist jedoch erst ab einer höheren Anlagenleistung effizient. Bei Fernwärmeanlagen wird ein Mengenbegrenzer eingebaut, der auf die angeforderte Wärmemenge eingestellt ist. Dadurch wird die Wärmeleistung einer Fernwärmeanlage über die gesamte Vertragslaufzeit festgelegt.

3.4 Auslegung Variante 2 „Gasbrennwertkessel“

Gasbrennwertkessel werden genau wie Fernwärmeanlagen nach der benötigten Spitzenleistung ausgelegt. Jedoch haben sie einen Unterschied. Durch einen Wärmespeicher können Wärmespitzen ausgeglichen werden. Dadurch nehmen die Vollbenutzungsstunden der Wärmeanlagen zu und die benötigte Spitzenleistung ab. In der Praxis werden deshalb Gasbrennwertkessel kleiner dimensioniert, als die berechnete Spitzenleistung in der Realität ist. Um die momentanen Vollbenutzungsstunden der Wärmeanlagen zu berechnen, wird der Jahreswärmebedarf jedes Gebäudes durch die momentane Anlagenleistung geteilt. Diese sind für jede der einzelnen Wärmeanlagen in dem nachfolgenden Diagramm abgebildet.

Tabelle 07: Berechnung der gegenwärtigen Vollbenutzungsstunden (Quelle: Eigene Darstellung)

Haus Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vollbenutzungsstunden	1.499 h	1.431 h	1.441 h	1.475 h	1.476 h	1.456 h	1.456 h	1.499 h	1.499 h	1.456 h

Haus Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Vollbenutzungsstunden	1.499 h	1.499 h	1.499 h	1.499 h	1.499 h	1.499 h	1.498 h	1.503 h	1.498 h	1.499 h

Die Gasbrennwertkessel haben eine **Ist-Gesamtwärmeleistung von 3.210 kW**. Die einzelnen Spitzenleistungen zu den berechneten Vollbenutzungsstunden können aus dem Kapitel 3.1.1 „Technische Ausgangssituation“ entnommen werden. Bei der Auswertung der Daten ist zu erkennen, dass die gegenwärtigen Wärmeanlagen überdimensioniert sind, da typische Werte von Gasbrennwertkessel bei 1.800 VBh bis 2.000 VBh liegen. Die neu geplanten dezentralen Wärmeanlagen werden deshalb auf eine **Soll-Gesamtwärmeleistung von 2504 kW** ausgelegt. **Die genaue Berechnung der Gesamtwärmeleistung wird durch eine Heizlastberechnung ermittelt.** Die Auslegung der einzelnen Mehrfamilienhäuser ist in der folgenden Tabelle abgebildet.

Tabelle 08: Auslegung Gasbrennwertkessel (Quelle: Eigene Darstellung)

Haus Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vollbenutzungsstunden	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h
Jahreswärmebedarf	224.890 kWh	257.549 kWh	259.412 kWh	265.497 kWh	265.621 kWh	262.020 kWh	262.020 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	262.020 kWh
Soll Anlagenwärmeleistung	118 kW	136 kW	137 kW	140 kW	140 kW	138 kW	138 kW	118 kW	118 kW	138 kW

Haus Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Vollbenutzungsstunden	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h	1.900 h
Jahreswärmebedarf	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.890 kWh	224.642 kWh	225.387 kWh	224.642 kWh	224.890 kWh
Soll Anlagenwärmeleistung	118 kW	118 kW	118 kW	118 kW	118 kW	118 kW	118 kW	119 kW	118 kW	118 kW

Da die berechnete Rücklauftemperatur bei 50°C liegt und diese den Taupunkt unterschreitet, wird der Brennwerteffekt der Gasbrennwertkessel genutzt.

3.5 Auslegung Variante 3 „Grundlast-BHKW“

Bei dieser Variante müssen zwei Wärmeanlagen ausgelegt werden. Zum einen die Spitzenlastkessel und zum anderen das Grundlast-BHKW. Die Wärmeversorgung wird dabei redundant ausgelegt, das heißt das im Falle einer BHKW-Störung die Spitzenlastkessel direkt zuschalten. Deshalb werden diese so dimensioniert, dass der benötigte Spitzenwärmebedarf auch durch die Gasbrennwertkessel abgedeckt werden kann. Somit kann auch bei einem Ausfall des BHKW eine sichere Wärmeversorgung

ermöglicht werden. Jedoch wird dies nur in den seltensten Fällen benötigt. Die Hauptaufgabe der Kessel ist die Absicherung der Wärmebereiche, welche oberhalb des Grundlast-BHKW liegen. Deshalb erreichen bei dieser Variante die Gasbrennwertkessel nur 1.082 VBh. Die Spitzenleistung wurde berechnet, indem die ermittelte Gesamtwärmeleistung aus dem Kapitel 3.4 mit den Wärmeverlusten von fünfzehn Prozent multipliziert wurden. Die **Spitzenleistung nach denen die Spitzenlastkessel dieser Variante ausgelegt werden, beträgt 3.040 kW**. Die Spitzenlastkessel übernehmen damit etwa 60% der Wärmeerzeugung.

Das Grundlast-BHKW wird wie im Kapitel 2.1.3.3 „Betriebsarten BHKWs“ beschrieben, wärmegeführt ausgelegt. Um die thermische Leistung des BHKW's zu bestimmen, ist es hilfreich eine Jahresdauerlinie zu verwenden. (VGL 3.2.1 Wärmebedarf) In dieser Variante wird das BHKW an die Grundlast angepasst, diese wird aus der Jahresdauerlinie abgelesen und liegt bei 300 kW. In dem folgenden Diagramm werden die beiden Wärmeerzeuger abgebildet, welchen Leistungsbereich an wie viel Tagen eines Jahres durch sie abgedeckt werden.

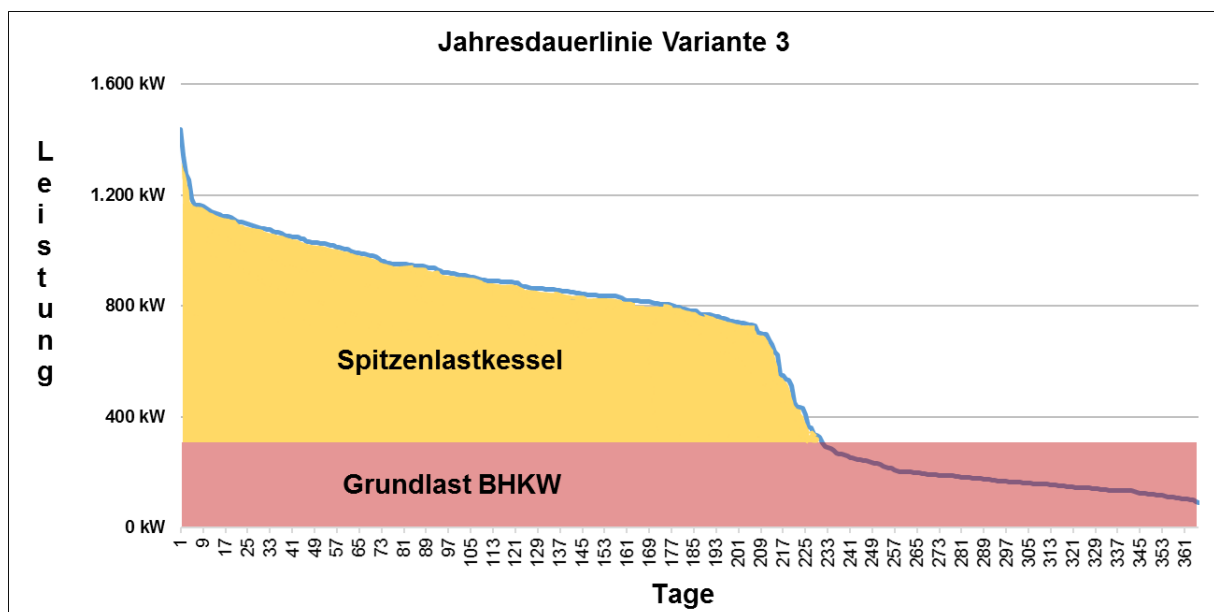


Abbildung 10: Jahresdauerlinie Variante 3 (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch das Zuschalten von Wärmespeichern können auch Tage abgedeckt werden, welche unterhalb der Wärmeleistung des BHKW liegen. Es ist wichtig den Speicher richtig zu dimensionieren. Bei zu kleiner Auslegung kann der Fall eintreten, dass das BHKW taktet, mehrmals aus- und anschaltet. Dies belastet das BHKW und führt zu einem höheren Verschleiß. Deshalb ist es wichtig, die Wärmespeicher groß genug

auszulegen. In den Sommermonaten ist das Blockheizkraftwerk nicht dauerhaft in Betrieb. In diesen Monaten ist es vorteilhaft, geplante Wartungsarbeiten vorzunehmen. Für weitere Berechnungen dieser Variante wurde ein BHKW der Firma 2G Energietechnik GmbH verwendet.

Typ	Leistung		Wirkungsgrad		
	el- ektrisch	thermisch	elektrisch	thermisch	gesamt
agenitor 406 (bt80-0)	250 kW	304 kW	39,80%	48,30%	88,10%

Abbildung 11: Datenblatt agenitor 406 (bt80-0) (Quelle: 2G GmbH)

Die Wirkungsgrade beziehen sich auf den Heizwert (H_i).

Das BHKW wird etwa 7.176 Vollbenutzungsstunden pro Jahr erreichen. Das Grundlast-BHKW übernimmt in dieser Variante demzufolge 40% der Wärmeherzeugung.

Für diese Variante wird darüber hinaus festgelegt, dass das BHKW nach 30000 VBh durch ein neues BHKW ersetzt wird. Dies ist notwendig, da sonst die Förderung des KWKG wegfällt und ohne die Förderung ein wirtschaftlicher Betrieb des BHKWs ausgeschlossen ist. Deshalb werden bei den Investitionskosten dieser Variante vier Ersatzinvestitionen eingerechnet.

3.6 Auslegung Variante 4 „Wärmeoptimiertes BHKW“

In dieser Variante muss neben den Spitzenlastkesseln und dem Grundlast-BHKW ein weiteres BHKW ausgelegt werden. Die BHKWs wurden dabei so dimensioniert, dass sie über 75% der gesamten Wärmeversorgung bereitstellen. Dadurch ist es möglich, bei dieser Variante eine Förderung von 100€ pro Meter unter der Voraussetzung zu erhalten, dass höchstens Fördergelder in Höhe von 40% der Investitionskosten des Wärmenetzes bezahlt werden.³¹ Da das Wärmenetz eine Länge von 1.680 Metern besitzen wird können Fördergelder in Höhe von 168.000€ eingerechnet werden. Die Fördergelder überschreiten demzufolge nicht die Fördergrenze von 202.080€ dieses Projektes.

³¹ Vgl. o.A. (o.J.): Wärme- und Kältenetze, Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, online verfügbar unter http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Waerme_Kaeltenetze/waerme_kaeltenetze_node.html, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

Die Spitzenlastkessel werden genau wie in Variante 3 redundant zu den BHKWs ausgelegt. Demzufolge beträgt die **Spitzenleistung auf welche die Brennwertkessel ausgelegt werden 3040 kW**. Da die zwei BHKWs in dieser Variante den größten Teil des Wärmebedarfes abdecken, werden die Spitzenlastkessel nur selten benötigt. Die Benutzungszeit der Gasbrennwertkessel beträgt 420 VBH. Die Spitzenlastkessel übernehmen demzufolge 23% der Wärmeerzeugung bei dieser Variante.

Die Auslegung des Grundlast-BHKW kann aus dem Punkt 3.5 übernommen werden.

Mit dem Beginn der Heizperiode schaltet das zweite BHKW zu. Dieses BHKW wird auch nach der Jahresdauerlinie ausgelegt. Die Wärmespitzen werden bei dieser Variante durch die Spitzenlastkessel abgedeckt. In der folgenden Jahresdauerlinie sind die einzelnen Wärmeerzeuger abgebildet. Dabei wird gezeigt, an wie vielen Tagen sie jeweils eine entsprechende Leistung abrufen.

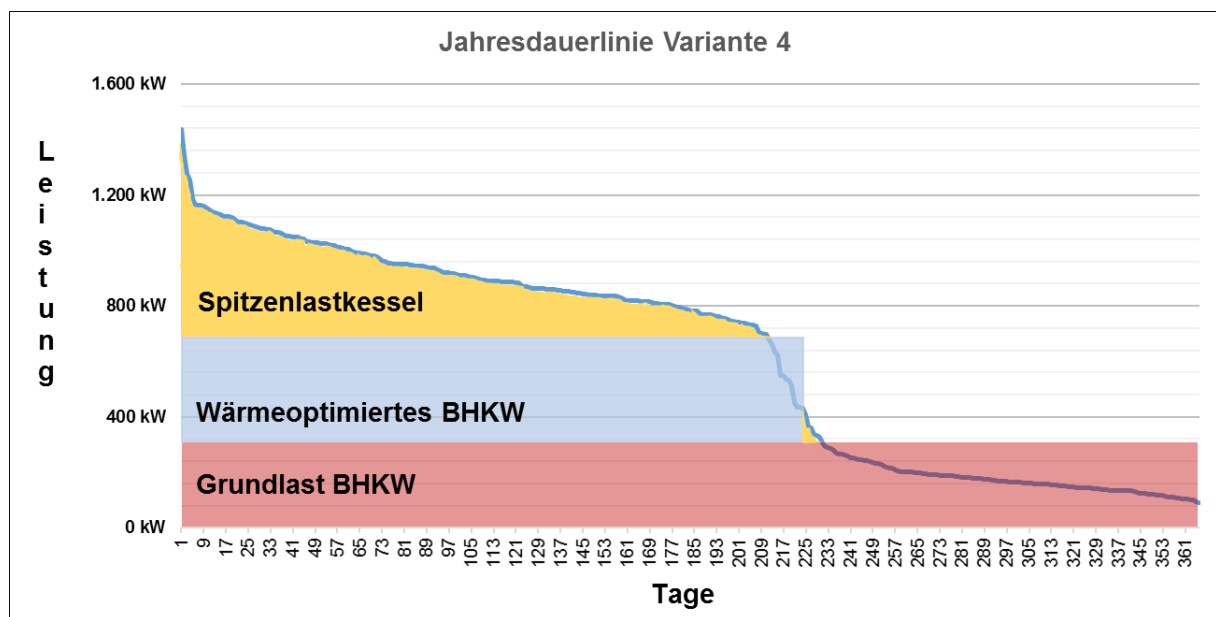


Abbildung 12: Jahresdauerlinie Variante 4 (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Wärmeoptimierte BHKW wird an den Lastgang der Jahresdauerlinie angepasst. Aufgrund der Jahresdauerlinie ist es sinnvoll die thermische Leistung des BHKW zwischen 650 kW und 750 kW auszulegen. Das BHKW besitzt dadurch eine lange Betriebszeit, wenig Taktungen und gleichzeitig eine möglichst hohe Abdeckung der Wärmeerzeugung. Für diese Variante wurde als zweites BHKW neben dem Grundlast-BHKW der „agenitor 408“ des Unternehmens 2G ausgewählt. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Daten dargestellt. Die Wirkungsgrade beziehen sich auf den Heizwert (Hi).

Typ	Leistung		Wirkungsgrad		
	El- ektrisch	thermisch	elektrisch	thermisch	gesamt
agenitor 408 (ct80-0)	360 kW	381 kW	42,50%	45,00%	87,50%

Abbildung 13: Datenblatt agenitor 408 (ct80-0) (Quelle: 2G GmbH)

Der „agenitor 408“ wird etwa 5.280 Vollbenutzungsstunden pro Jahr erreichen. Das Wärmeoptimierte BHKW wird dadurch 36,8% der Wärmeerzeugung abdecken können. Wird das Grundlast-BHKW mit einem Anteil von 40% der Wärmeversorgung mit eingerechnet, ergibt dies in der Summe 76,8%. Dadurch erfüllt diese Variante die Voraussetzungen der BAFA-Förderung von Wärmenetzen.

Wie bei der Variante 3 wird auch für diese Variante festgelegt, dass das BHKW nach 30.000 VBh durch ein neues BHKW ersetzt wird. Deshalb werden bei den Investitionskosten dieser Variante drei Ersatzinvestitionen für den „agenitor 406“ und zwei Ersatzinvestitionen für den „agenitor 408“ eingerechnet.

Durch die Auslegung ist es nun möglich, die Kennzahlen der einzelnen Varianten zu berechnen. Im folgenden Kapitel wird darauf genauer eingegangen.

4. Preiskalkulation

In diesem Kapitel wird der Wärme- und Strompreis der einzelnen Varianten berechnet. Dabei wird beim Strompreis nur auf die Varianten 3 und 4 eingegangen, da diese stromerzeugende Anlagen beinhalten. Durch das Mieterstrommodell wird ein Strompreis für die Netzeinspeisung und ein zweiter Strompreis für die Direktlieferung an den Mieter berechnet.

4.1 Wärmepreis

Der Wärmepreis setzt sich aus dem Verrechnungspreis und dem Arbeitspreis zusammen. Der Verrechnungspreis ist der Preis, welcher alle fixen Kosten enthält. Der Arbeitspreis enthält alle variablen Kosten.

Der Wärmepreis wird berechnet, indem der Arbeitspreis multipliziert wird mit dem entsprechenden Energiebedarf. Im zweiten Schritt wird die Summe des Arbeitspreises und Verrechnungspreises durch die Wohnfläche geteilt. Um denselben spezifischen Wärmepreis zu erhalten, wurde dieser an die wirtschaftlich schwächste Variante 1 angepasst, um die einzelnen Energiekonzepte wirtschaftlich zu vergleichen.

Der Arbeitspreis setzt sich aus allen Beschaffungskosten, Netzentgelten, Konzessionsabgaben, staatlichen Steuern und Abgaben, welche durch die Wärmeversorgung entstehen, zusammen.³²

Der Verrechnungspreis hingegen beinhaltet alle fixen Instandhaltungs-, Verbrauchs-, Betriebs- und Investitionskosten, dies sind jährliche Kosten, welche bei der Wärmeversorgung entstehen. Alle fixen Kosten, die durch das Mieterstrommodell oder die Stromerzeugung entstehen, werden hingegen nicht mit eingerechnet. Deshalb wurden die Kosten der BHKWs auf den Wärmepreis und Strompreis aufgeteilt. Investitionskosten werden durch die betrachtete Laufzeit von 15 Jahre geteilt, um die jährlichen Investitionskosten zu erhalten.

In dem folgenden Diagramm sind die einzelnen Daten zur Berechnung des spezifischen Wärmepreises angegeben. Des Weiteren wurde der Grundpreis pro Monat be-

³² Vgl. o.A. (o.J.): Hg. v. E wie einfach GmbH, online verfügbar unter <https://www.e-wie-einfach.de/faq/faqs/was-bedeutet-arbeitspreis>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

rechnet. Dieser beinhaltet den Verrechnungspreis aller Varianten. Die einzelnen Kosten zur Berechnung des Arbeits- und Verrechnungspreises können aus den Anhängen entnommen werden (siehe Anhang C.6 folgende).

Tabelle 09: Wärmepreiskalkulation (Quelle: Eigene Darstellung)

	Energiebedarf	Arbeitspreis	Verrechnungspreis pro Jahr	Wohnfläche	spezifischer Wärmepreis pro Monat	Grundpreis pro Monat
Variante1	4.758 MWh	5,42 ct/kWh	226.491,33 €	38.313 m ²	1,05 €/m ² *Monat	0,49 €/m²
Variante2	4.758 MWh	7,47 ct/kWh	128.979,35 €	38.313 m ²	1,05 €/m ² *Monat	0,28 €/m²
Variante3	4.758 MWh	5,18 ct/kWh	237.859,00 €	38.313 m ²	1,05 €/m ² *Monat	0,52 €/m²
Variante4	4.758 MWh	4,99 ct/kWh	246.750,00 €	38.313 m ²	1,05 €/m ² *Monat	0,54 €/m²

Ist die Entscheidung für ein Energiekonzept gefallen, setzt sich der resultierende Wärmepreis jeder Wohneinheit demzufolge aus dem Arbeitspreis jeder verbrauchten Kilowattstunde Wärme und dem Grundpreis, multipliziert mit der Wohnfläche, zusammen. Der spezifische Wärmepreis und die Wirtschaftlichkeit stehen somit in einem Verhältnis. Besteht das Interesse den Wärmepreis zu senken, wird die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten schlechter, wird er erhöht besser. Dadurch können Vorgaben individuell angepasst werden.

4.2 Strompreis

Bei den Varianten 3 und 4 wird ein Stromvertrag zwischen Mieter und Anlagenbetreiber abgeschlossen. (vgl. 2.1.4 Mieterstrom) Bei der Kalkulation der Stromerlöse wird davon ausgegangen, dass 80% aller Mieter den Stromvertrag der HOWOGE Wärme GmbH abschließen (vgl. 3.1.2 Wirtschaftliche Ausgangssituation). Dies umfasst 534 Kunden, welche einen Gesamtstrombedarf von 780,66 MWh haben (vgl. 3.2.2 Strombedarf). Um eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten wird bei Bedarf zusätzlich zum produzierten Strom, Strom aus dem öffentlichen Netz dazu gekauft und bei Überschüssen Strom verkauft (vgl. 2.1.4 Mieterstrom)

Laut § 4 Abs. 1 KWKG besteht für neue BHKWs der Leistungsklasse größer als 100 kW_{el} die Pflicht, den erzeugten Strom direkt zu vermarkten. Dadurch wird der überschüssige Strom, der in das öffentliche Netz eingespeist wird, am Spotmarkt der Leipziger Energiebörse (European Energy Exchange - EEX) verkauft. Der Preis ergibt sich aus den Durchschnittspreisen an der Strombörse des vorhergehenden Quartals. Der Grundlast-Preis gilt dann gemäß KWKG für das Folgequartal. Im zweiten Quartal des Jahres 2017 wurde ein Baseloadpreis von **2,978 ct/kWh** ermittelt, dieser wird für die weiteren Berechnungen genutzt. Darüber hinaus wird der komplette Strom, der für

eine KWK-Anlage produziert und in das öffentliche Netz oder in eine Kundenanlage eingespeist wird, mit einem KWKG-Zuschlag vergütet. Die einzelnen KWKG-Zuschläge sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Bei der Netzeinspeisung werden darüber hinaus Netzentgelte vermieden. Da die BHKWs in das Niederspannungsnetz einspeisen, werden dem Netzbetreiber Kosten erspart, die beim Heruntertransformieren aus einer höheren Spannungsebene entstehen. Die vermiedenen **Netzentgelte betragen 0,27 ct/kWh**. Die Stromgestehungskosten umfassen alle Kosten der BHKWs, welche bei der Erzeugung des Stromes auftreten. Die verwendeten Werte stammen von der 2G Energietechnik GmbH. In der folgenden Tabelle werden die Stromgewinne für die Netzeinspeisung der Varianten 3 und 4 berechnet.

Tabelle 10: Stromgewinnberechnung einer Kilowattstunde bei der Netzeinspeisung (Quelle: Eigene Darstellung)

	Variante 3	Variante 4	
Gewinn aus der Netzeinspeisung	BHKW Agenitor 406	BHKW Agenitor 406	BHKW Agenitor 408
Durchschnittspreis Baseload EEX	2,98 ct/kWh	2,98 ct/kWh	2,98 ct/kWh
KWKG Zuschlag	5,80 ct/kWh	5,80 ct/kWh	5,37 ct/kWh
verm. Netzentgelte	0,28 ct/kWh	0,28 ct/kWh	0,27 ct/kWh
Stromgestehungskosten	-4,19 ct/kWh	-4,19 ct/kWh	-4,22 ct/kWh
Gewinn	4,87 ct/kWh	4,87 ct/kWh	4,40 ct/kWh

Die Stromgewinne einer Kilowattstunde, welche in das öffentliche Netz eingespeist wird beträgt beim „agenitor 406“ **4,87 ct/kWh** und beim „agenitor 408“ **4,40 ct/kWh**.

Beim Vorortstrom fallen keine Steuern oder Umlagen an, ausgenommen davon ist die EEG-Umlage (2.1.4 Mieterstrom). Diese beträgt für das Jahr 2017 **6,88 ct/kWh** und muss in den Strompreis mit eingerechnet werden.

Tabelle 11: Stromgewinnberechnung einer Kilowattstunde im Mieterstrommodell (Quelle: Eigene Darstellung)

	Variante 3	Variante 4	
Gewinn aus dem Mieterstrommodell	BHKW Agenitor 406	BHKW Agenitor 406	BHKW Agenitor 408
Erlöse aus mS	23,44 ct/kWh	23,44 ct/kWh	23,44 ct/kWh
KWKG Zuschlag	2,60 ct/kWh	2,60 ct/kWh	2,26 ct/kWh
EEG Umlage	-6,88 ct/kWh	-6,88 ct/kWh	-6,88 ct/kWh
Stromgestehungskosten	-4,19 ct/kWh	-4,19 ct/kWh	-4,22 ct/kWh
Gewinn	14,97 ct/kWh	14,97 ct/kWh	14,60 ct/kWh

Die Stromgewinne einer Kilowattstunde die durch das Mieterstrommodell an die Kunden verkauft wird, beträgt beim „agenitor 406“ **14,97 ct/kWh** und für den „agenitor 408“ **14,60 ct/kWh**.

5. Berechnung der Kennzahlen

In diesem Kapitel werden die zur späteren Analyse der Ergebnisse im Punkt 5 benötigten drei Kennzahlen der einzelnen Varianten berechnet. Diese sind Primärenergiefaktor, spezifische CO₂-Emissionen und Eigenkapitalrentabilität.

5.1 Primärenergiefaktoren

Die Primärenergiefaktoren berechnen sich für die Varianten 2, 3 und 4 nach den Formeln aus dem Kapitel 2.1.5 „Primärenergiebedarf“. Für die Variante 1 wird der Primärenergiefaktor des Berliner Vattenfall Fernwärmenetzes angenommen.

Für die Berechnung der Varianten 3 und 4 wird die Stromkennzahl der jeweiligen BHKWs benötigt, dabei wird die Formel aus dem Kapitel 2.1.3.2 „BHKW-Technik“ verwendet.

Tabelle 12: Stromkennzahl Berechnung der BHKWs (Quelle: Eigene Darstellung)

	agenitor 406 (bt80-0)	agenitor 408 (ct80-0)
elektrische Leistung	250 kW _{el}	360 kW _{el}
thermische Leistung	304 kW _{th}	381 kW _{th}
Stromkennzahl	0,822	0,945

Der Agenitor 406 hat eine Stromkennzahl von 0,822 und der Agenitor 408 eine Stromkennzahl von 0,945. Dadurch erzeugt der Agenitor 406 mehr elektrische Energie im Vergleich zur Nutzwärme als der Agenitor 408.

Weitere Daten, die für folgende Berechnungen benötigt werden, wurden in den ersten zwei Leistungsphasen der HOAI ermittelt oder aus den Datenblättern der jeweiligen technischen Komponenten entnommen. Die Primärenergiefaktoren der Energieträger Strom, Fernwärme und Erdgas sind in den Anhängen abgebildet (siehe Anhang B).

In der nachfolgenden Abbildung werden die Primärenergiefaktoren der Wärmeversorgung aller vier Varianten dargestellt.

Tabelle 13: Primärenergiefaktor Berechnung der einzelnen Varianten (Quelle: Eigene Darstellung)

		Variante 1	
Primärenergiefaktor des Vattenfall Fernwärmenetzes	$f_{P,FW}$	0,56	
		Variante 2	
		$f_{P,WA} = \frac{\alpha_{th} \cdot f_{P,BR}}{\zeta_{ne th} \cdot \zeta_{HN}}$	
Stromkennzahl der KWK-Anlage	σ		Gasbrennwertkessel
Deckungsanteil Gasbrennwertkessel	α_{th}		-
Hilfsstrom A_{HN} / Gesamtwärmebedarf Q_{bn}	α_{HN}		1
Nutzungsgrad des Heiznetzes	ζ_{HN}		-
Nutzungsgrad des Brennwertkessel	$\zeta_{ne th}$		0,95
Primärenergiefaktor des Brennstoffes	$f_{P,BR}$		0,9
Primärenergiefaktor Strom	$f_{P,verdr}$		1,1
			-
Primärenergiefaktor der Wärmeanlage	$f_{P,WA}$	1,29	
		Variante 3	
		$f_{P,WA} = \frac{(1 + \sigma) \cdot \alpha_{KWK} \cdot f_{P,BR}}{\zeta_{ne,KWK} \cdot \zeta_{HN}} + \frac{\alpha_{th} \cdot f_{P,BR}}{\zeta_{ne th} \cdot \zeta_{HN}} - \frac{(\sigma \cdot \alpha_{KWK} - \alpha_{HN}) \cdot f_{P,verdr}}{\zeta_{HN}}$	
Stromkennzahl der KWK-Anlage	σ	Grundlast BHKW	Gasbrennwertkessel
KWK-Deckungsanteil/ SLK-Deckungsanteil	$\alpha_{KWK} / \alpha_{th}$	0,822	-
		0,399	0,601
Hilfsstrom A_{HN} / Gesamtwärmebedarf Q_{bn}	α_{HN}	0,02	0,02
Nutzungsgrad des Heiznetzes	ζ_{HN}	0,85	0,85
Nutzungsgrad KWK-Anlage/ Brennwertkessel	$\zeta_{ne,KWK} / \zeta_{ne th}$	0,881	0,9
Primärenergiefaktor des Brennstoffes	$f_{P,BR}$	1,1	1,1
Primärenergiefaktor Strom	$f_{P,verdr}$	2,8	-
Primärenergiefaktor des Nahwärmenetzes	$f_{P,NW}$	0,92	
		Variante 4	
		$f_{P,WA} = \frac{(1 + \sigma) \cdot \alpha_{KWK} \cdot f_{P,BR}}{\zeta_{ne,KWK} \cdot \zeta_{HN}} + \frac{\alpha_{th} \cdot f_{P,BR}}{\zeta_{ne th} \cdot \zeta_{HN}} - \frac{(\sigma \cdot \alpha_{KWK}) \cdot f_{P,verdr}}{\zeta_{HN}} + \frac{(1 + \sigma) \cdot \alpha_{KWK} \cdot f_{P,BR}}{\zeta_{ne,KWK} \cdot \zeta_{HN}} - \frac{(\sigma \cdot \alpha_{KWK} - \alpha_{HN}) \cdot f_{P,verdr}}{\zeta_{HN}}$	
Stromkennzahl der KWK-Anlage	σ	Heizperioden BHKW	Grundlast BHKW
KWK-Deckungsanteil/ SLK-Deckungsanteil	$\alpha_{KWK} / \alpha_{th}$	0,945	0,822
Hilfsstrom A_{HN} / Gesamtwärmebedarf Q_{bn}	α_{HN}	0,368	0,399
Nutzungsgrad des Heiznetzes	ζ_{HN}	0,02	0,02
Nutzungsgrad KWK-Anlage/ Brennwertkessel	$\zeta_{ne,KWK} / \zeta_{ne th}$	0,85	0,85
Primärenergiefaktor des Brennstoffes	$f_{P,BR}$	0,88	0,881
Primärenergiefaktor Strom	$f_{P,verdr}$	0,9	0,9
		1,1	1,1
		2,8	2,8
		-	-
Primärenergiefaktor des Nahwärmenetzes	$f_{P,NW}$	0,30	

Der Primärenergieeinsatz der einzelnen Varianten kann mittels der berechneten Faktoren verglichen werden. Die Faktoren beinhalten dabei auch jegliche primäre Energie aus den Vorketten. Die Primärenergiefaktoren der einzelnen Varianten sind in dem folgenden Diagramm abgebildet.

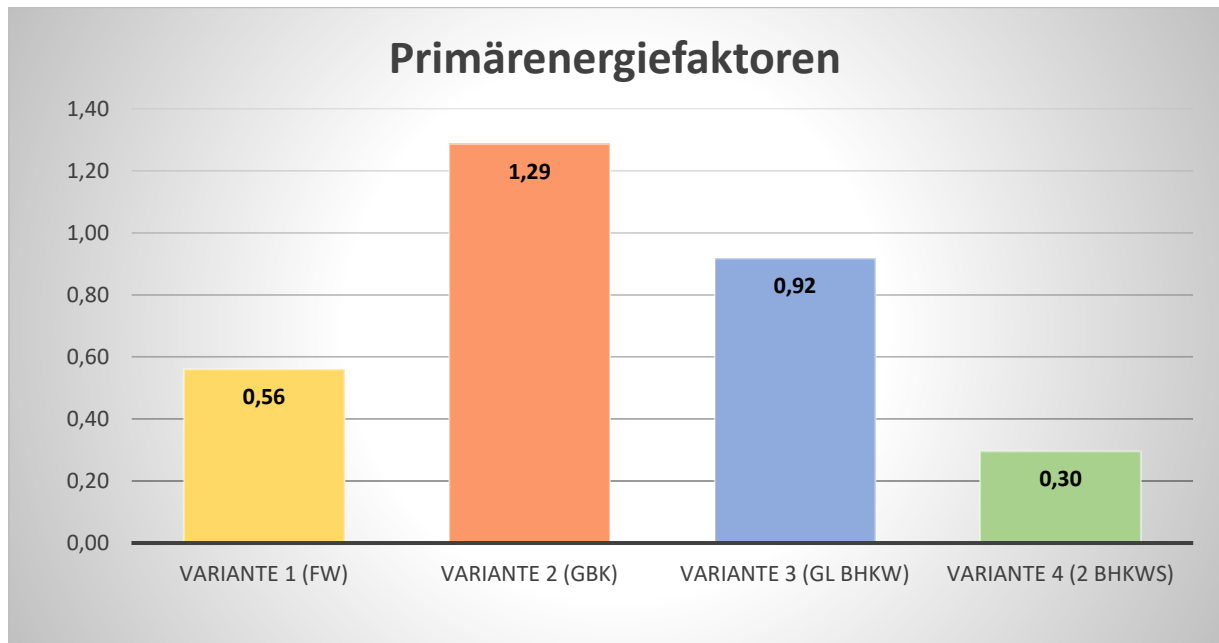


Abbildung 14: Primärenergiefaktoren (Quelle: Eigene Darstellung)

5.2 Spezifische CO₂-Emissionen

Die spezifischen CO₂-Emissionen werden nach dem AGFW-Arbeitsblatt „FW 309 Teil 6 vom Juni 2016“ berechnet (vgl. 2.1.6 Kohlenstoffdioxidemissionen).

Mit Hilfe des Wirtschaftlichkeitstools der HOWOGE Wärme GmbH ist es möglich, Wärmemengen, welche die einzelnen Energieanlagen jährlich bereitstellen, zu ermitteln. Darüber hinaus werden die CO₂-Emissionen des Hilfsstromes mit eingerechnet. Dafür werden im Tool für die Varianten 3 und 4 die Stromerzeugung der Blockheizkraftwerke berechnet.

Durch den produzierten Strom der BHKWs wird CO₂ eingespart, indem durch Einspeisung in das öffentliche Netz oder Direktlieferung an die Mieter Strom durch KWK-Anlagen bereitgestellt wird. Die CO₂-Emissionen des Stromes können deshalb gegenge-rechnet werden, da die vier Varianten nur nach den CO₂-Emissionen der Wärme-erzeugung verglichen werden.

Diese sind in dem nachfolgenden Diagramm aufgelistet. Die einzelnen CO₂-Emissionsfaktoren wurden aus der Klimaschutzvereinbarungen für das Land Berlin entnommen und sind in dem Folgenden Diagramm abgebildet (siehe Anhang B).

Tabelle 14: CO₂ Emissionsfaktoren (Quelle: Eigene Darstellung)

Energieträger	CO ₂ -Emissionsfaktoren
Strom	708 kg/MWh
Erdgas	211 kg/MWh
Fernwärme	160 kg/MWh

Die gesamten CO₂-Emissionen der einzelnen Varianten werden nach der Berechnungsvorlage aus dem Kapitel 2.1.6 „Kohlenstoffdioxidemissionen“ berechnet. In der folgenden Abbildung wird diese Berechnungsabfolge dargestellt.

Tabelle 15: Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen der einzelnen Varianten (Quelle: Eigene Darstellung)

Energieanlage 1				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
f_{WE} Emissionsfaktor der Wärmenetzeinspeisung				211 kg/MWh
Q_{WEX} Wärmenetzeinspeisung der Wärmezeugungsanlage				5.409 MWh
E_{WEX} CO ₂ -Emissionen der Wärmenetzeinspeisung				1.141.337 kg/a
$E_{WEX} = f_{WE} \cdot Q_{WEX}$				
f_{SE} CO ₂ -Emissionsfaktor des Stromes				708 kg/MWh
Q_{SEX} Stromnetzeinspeisung der Stromzeugungsanlagen				1.901 MWh
E_{SEX} CO ₂ -Emissionsgutschrift der Stromeinspeisung				1.345.766 kg/a
$E_{SEX} = f_{SE} \cdot Q_{SEX}$				
Energieanlage 2				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
f_{WE} Emissionsfaktor der Wärmenetzeinspeisung			211 kg/MWh	211 kg/MWh
Q_{WEX} Wärmenetzeinspeisung der Wärmezeugungsanlage			5.465 MWh	5.465 MWh
E_{WEX} CO ₂ -Emissionen der Wärmenetzeinspeisung			1.153.126 kg/a	1.153.126 kg/a
$E_{WEX} = f_{WE} \cdot Q_{WEX}$				
f_{SE} CO ₂ -Emissionsfaktor des Stromes			708 kg/MWh	708 kg/MWh
Q_{SEX} Stromnetzeinspeisung der Stromzeugungsanlagen			1.794 MWh	1.794 MWh
E_{SEX} CO ₂ -Emissionsgutschrift der Stromeinspeisung			1.270.152 kg/a	1.270.152 kg/a
$E_{SEX} = f_{SE} \cdot Q_{SEX}$				
Energieanlage 3				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
f_{WE} Emissionsfaktor der Wärmenetzeinspeisung	160 kg/MWh	211 kg/MWh	211 kg/MWh	211 kg/MWh
Q_{WEX} Wärmenetzeinspeisung der Wärmezeugungsanlage	4.806 MWh	5.815 MWh	4.023 MWh	1.559 MWh
E_{WEX} CO ₂ -Emissionen der Wärmenetzeinspeisung	768.893 kg/a	1.226.912 kg/a	848.798 kg/a	328.974 kg/a
$E_{WEX} = f_{WE} \cdot Q_{WEX}$				

Hilfsenergie Strom				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
A_{HEX} Hilfsstrom	95 MWh	95 MWh	109 MWh	109 MWh
f_{HEX} CO ₂ -Emissionsfaktor	708 kg/MWh	708 kg/MWh	708 kg/MWh	708 kg/MWh
E_{HEX} CO ₂ -Emissionen des Hilfsstromes	67.366 kg/a	67.366 kg/a	77.342 kg/a	77.342 kg/a
$E_{\text{HEX}} = A_{\text{HEX}} \cdot f_{\text{HEX}}$				

Gesamt				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
$\sum E_{\text{WEX}}$ CO ₂ -Emission der Wärmenetzeinspeisung	768.893 kg/a	1.226.912 kg/a	2.001.924 kg/a	2.623.437 kg/a
E_{SEX} CO ₂ -Emissionsgutschrift der Stromeinspeisung			1.270.152 kg/a	2.615.918 kg/a
$\sum E_{\text{HEX}}$ CO ₂ -Emissionen der Hilfsenergieanlagen	67.366 kg/a	67.366 kg/a	77.342 kg/a	77.342 kg/a
$E_{\sum \text{WE}}$ CO ₂ -Emission aller Wärmeeinspeisenden Anlagen	836.259 kg/a	1.294.278 kg/a	809.114 kg/a	84.860 kg/a
	$E_{\sum \text{WE}} = \sum_{x=1}^n E_{\text{WEX}} + \sum_{x=1}^m E_{\text{HEX}}$		$E_{\sum \text{WE}} = E_{\text{WEX}} - E_{\text{SEX}} + E_{\text{HEX}}$	

spezifische CO ₂ -Emissionen	22 kg/a*m ²	34 kg/a*m ²	21 kg/a*m ²	2 kg/a*m ²
---	------------------------	------------------------	------------------------	-----------------------

Um die spezifischen CO₂-Emissionen zu berechnen, werden die gesamten CO₂-Emissionen aller wärmeeinspeisenden Anlagen ($E_{\sum \text{WE}}$) durch die beheizte Wohnfläche geteilt.

In dem folgenden Diagramm sind die spezifischen CO₂-Emissionen der einzelnen Varianten abgebildet. Dabei werden CO₂-Emissionen, welche bei den einzelnen Varianten entstehen rot dargestellt. Die CO₂-Gutschriften, welche bei den Varianten 3 und 4 entstehen, werden violett abgebildet. Durch Subtraktion ergeben sich die resultierenden CO₂-Emissionen, die blau dargestellt werden.

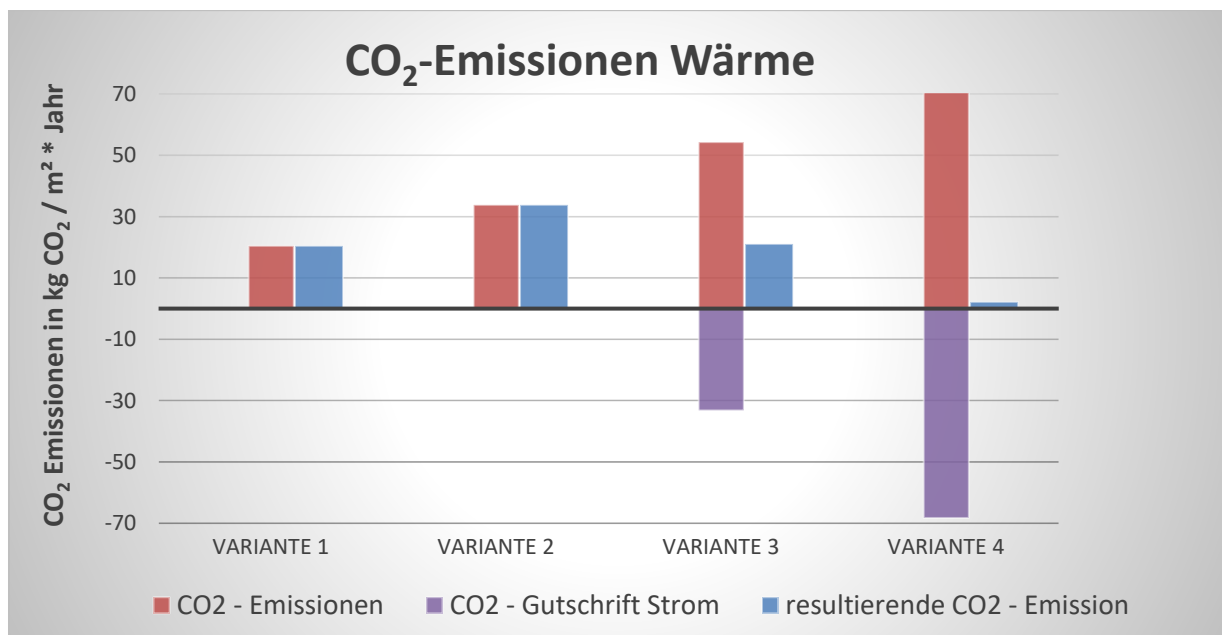


Abbildung 15: CO₂-Emissionen Wärme (Quelle: Eigene Darstellung)

5.3 Eigenkapitalrentabilität

In dem Variantenvergleich der vier Energieversorgungskonzepte wird dieses Projekt zu 20% aus Eigenkapital und 80% aus Fremdkapital finanziert.

Durch den Leverage-Effekt wird die Eigenkapitalrentabilität verbessert. Die Gesamtkapitalrendite ist höher als der Fremdkapitalzins. Dadurch wird die Eigenkapitalrendite erhöht. Dies ist unter dem Begriff Hebelwirkung bekannt. Aus diesem Grund lohnt es sich, Fremdkapital aufzunehmen. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass die Eigenkapitalrendite gesenkt wird. Dieser Fall tritt ein, wenn das Gesamtkapital unter dem Fremdkapitalzins liegt.³³

Für die Finanzierung aus dem Eigenkapital wird folgender Anteil festgelegt:

Tabelle 16: Eigenkapitaldaten. (Quelle: Eigene Darstellung)

Eigenkapital	
Eigenkapitalhöhe	20% der Investitionskosten

Für den Finanzierungsanteil aus dem Fremdkapital werden diese Werte festgelegt:

Tabelle 17: Kreditdaten. (Quelle: Eigene Darstellung)

Kreditkonditionen			
Darlehenshöhe	Gesamtlaufzeit	Zinssatz	Laufzeit Annuität
80% der Investitionskosten	15 Jahre	2,50%	15 Jahre

Die Laufzeit des Kredits beträgt fünfzehn Jahre. Es wird ein üblicher Zinssatz von 2,5% angenommen, welcher über die Betrachtungszeit von 15 Jahren abbezahlt wird.

Durch die Berechnung der Eigenkapitalrentabilität ist es möglich, über einen bestimmten Zeitraum herauszufinden, wie sich das eingesetzte Eigenkapital entwickelt. Die Eigenkapitalrendite gibt dabei die durchschnittliche Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals an.

Da die genaue Aufführung der Berechnung der Eigenkapitalrendite den Umfang dieser Bachelorarbeit überschreitet, werden die einzelnen Renditen mit dem Wirtschaftlichkeitstool berechnet. Die Berechnung enthält alle Kosten und Erlöse. Darüber hinaus

³³ Vgl. o.A. (o.J.): Leverage-Effekt, Hg. v. Janedu UG, online verfügbar unter <http://www.welt-der-bwl.de/Leverage-Effekt>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

werden auch jegliche Steuern mit eingerechnet (vgl. 2.2.1 „Eigenkapitalrentabilität und Gewinnberechnung“).

Die Eigenkapitalrenditen der einzelnen Varianten bei einem Wärmepreis von 1,05 €/m² im Monat sind im folgenden Diagramm abgebildet:

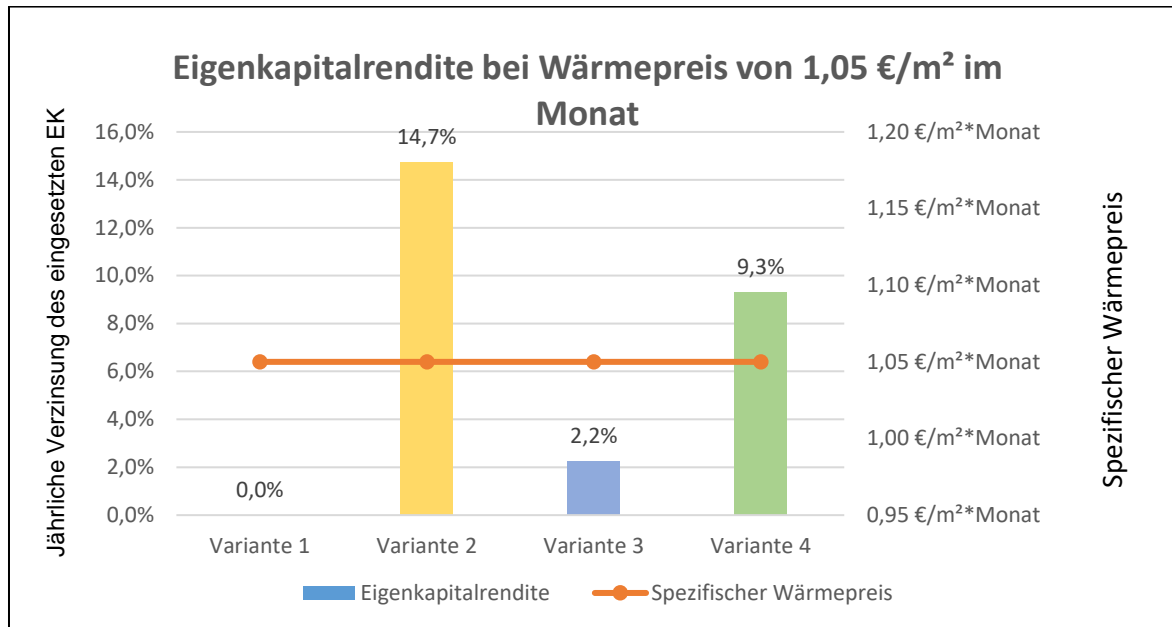


Abbildung 17: Eigenkapitalrendite bei Wärmepreis von 1,05€/m² im Monat (Quelle: Eigene Darstellung)

Ist die Vorgabe der HOWOGE Wärme GmbH eine Eigenkapitalrendite von 5,0 % zu erreichen, muss der Wärmepreis angepasst werden. Demzufolge würden sich die Wärmepreise der einzelnen Varianten erhöhen oder senken. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

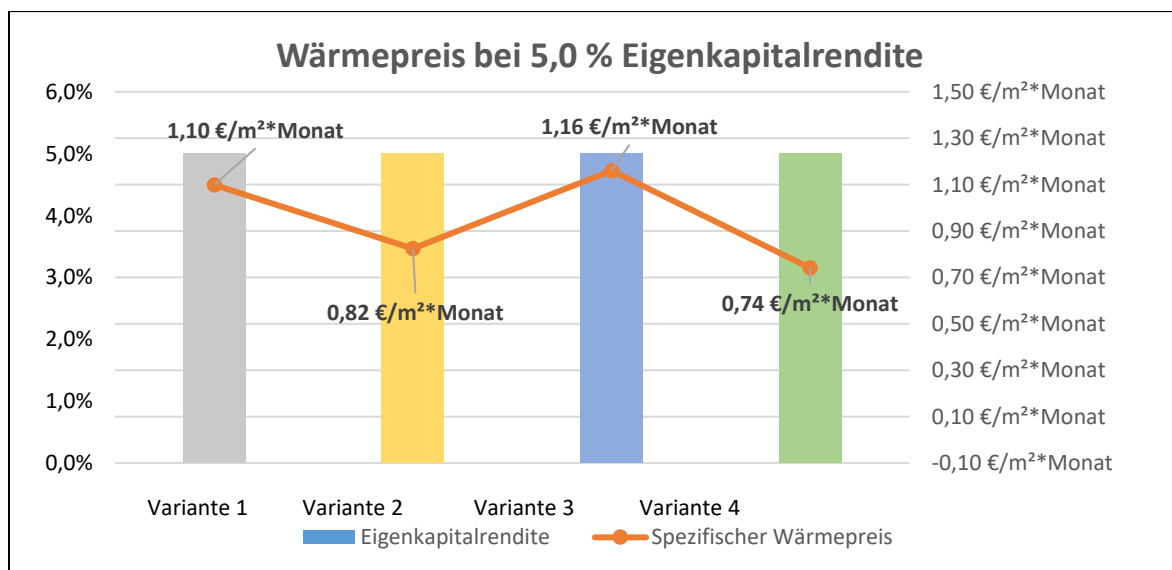


Abbildung 18: Wärmepreis bei 5,0% Eigenkapitalrendite (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch die Berechnung der unterschiedlichen Wärmepreise bei einer Eigenkapitalrendite von 5,0 % wird ersichtlich, dass diese sich nicht proportional zwischen den einzelnen Varianten verändern. Dies liegt daran, dass die Hebelwirkung bei den Varianten aufgrund des verschiedenen Eigenkapitals unterschiedlich ist.

6. Analyse der Ergebnisse

Durch die Berechnung der Primärenergiefaktoren, spezifische CO₂-Emissionen und der Eigenkapitalrentabilität ist es möglich, einen Vergleich zwischen den vier verschiedenen Varianten zu ziehen. Die Eigenkapitalrendite bezieht sich dabei auf einen Wärmepreis von 1,05 €/m² im Monat. Im folgenden Diagramm sind die einzelnen Kennzahlen der Varianten zur besseren Veranschaulichung dargestellt:

Tabelle 18: Zusammenfassung der Kennzahlen. (Quelle: Eigene Darstellung)

Zusammenfassung	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Primärenergiefaktor	0,56 kg/m ² *a	1,29 kg/m ² *a	0,92 kg/m ² *a	0,30 kg/m ² *a
Spezifische CO₂-Emissionen	22 kg/m ² *a	34 kg/m ² *a	21 kg/m ² *a	2 kg/m ² *a
Eigenkapitalrendite	0,0%	14,7%	2,2%	9,4%

Die erste Variante besitzt einen Primärenergiefaktor von 0,56. Dies ist im Vergleich der zweitbeste Wert. Mit spezifischen CO₂-Emissionen in Höhe von 22 kg/m²*a hat die Wärmeversorgung durch Fernwärme die dritthöchsten spezifischen CO₂-Emissionen. Mit einer gerundeten Eigenkapitalrendite von 0,0% besitzt diese Variante gegenüber den anderen drei Varianten die schwächste Eigenkapitalrendite.

Die zweite Variante dagegen hat die stärkste Eigenkapitalrendite mit 14,7%. Dafür jedoch den schlechtesten Primärenergiefaktor mit 1,29. Auch die spezifischen CO₂-Emissionen mit 34 kg/m²*a sind im Vergleich mit den anderen Varianten die höchsten spezifischen CO₂-Emissionen.

Die dritte Variante besitzt neben der zentralen Wärmeversorgung ein Mieterstrommodell. Deshalb wird bei der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme CO₂ und Primärenergie eingespart. Diese Variante erreicht demzufolge gegenüber der zweiten Variante einen Primärenergiefaktor von 0,92 und ist damit im Vergleich der dritt schlechteste Primärenergiefaktor. Die spezifischen CO₂-Emissionen dieser Variante betragen 21 kg/m²*a. Dies ist im Vergleich der zweitwenigste Ausstoß an CO₂-Emissionen. Mit einer Eigenkapitalrentabilität von 2,2% besitzt das Energiekonzept 3 die drittbeste Eigenkapitalrentabilität.

Die 4. Variante baut auf der 3. auf und besitzt neben dem Grundlast-BHKW noch ein Heizperioden BHKW. Durch den hohen KWK-Deckungsanteil von 76,8% (vgl. 3.6 Aus-

legung Variante 4 „Wärmeoptimiertes BHKW) wurde für diese Variante ein Primärenergiefaktor von 0,3 berechnet. Dies ist von allen vier Varianten der niedrigste Faktor. Die spezifischen CO₂-Emissionen betragen 2 kg/m²*a. Damit besitzt dieses Energiekonzept auch die niedrigsten CO₂-Emissionen. Mit einem Wert von 9,4% besitzt diese Variante die zweitbeste Eigenkapitalrendite.

7. Fazit

7.1 Auswertung

Die 1. Variante erweist sich als eher unattraktiv für die HOWOGE Wärme GmbH, da kaum wirtschaftlicher Spielraum besteht. Ist das Ziel 5,0 % Eigenkapitalrendite, erhöht sich der spezifische Wärmepreis auf 1,10 €/m² im Monat. Da die HOWOGE Wärme GmbH Wärmepreise um die 0,80 €/m² im Monat anstrebt, wird diese Variante aufgrund der Wirtschaftlichkeit nicht in Betracht gezogen.

Die Variante 2, d.h. die Wärmeversorgung durch moderne dezentrale Gasbrennwertkessel, erweist sich als das wirtschaftlichste Energiekonzept beim Wirtschaftlichkeitsvergleich. Wird jedoch die Eigenkapitalrendite auf 5,0 % festgelegt, ist zu erkennen, dass der erzielte spezifische Wärmepreis von 0,82 €/m² im Monat über dem spezifischen Wärmepreis der Variante 4 liegt. Dies ist auf die unterschiedlichen Hebelwirkungen bei der Änderung der Eigenkapitalrendite zurückzuführen (vgl. 5.3 Eigenkapitalrentabilität). Des Weiteren stößt die Variante 2 gleichzeitig die meisten CO₂-Emissionen aus. Wegen firmeninternen Gründen kann in dieser Form diese Variante nicht umgesetzt werden.

Die 3. Variante erweist sich aufgrund der sehr hohen Investitionskosten beim Umbau von dezentralen Anlagen zu einer zentralen Anlage und der sehr niedrigen Gewinne, welche durch das Grundlast-BHKW erzielt werden, als nicht umsetzungsfähig. Bei einer Eigenkapitalrentabilität von 5% erzielt diese Variante einen spezifischen Wärmepreis von 1,16 €/m² im Monat. Damit hat die 3. Variante den teuersten spezifischen Wärmepreis. Der einzige Vorteil entsteht durch die Stromgutschrift des Grundlast-BHKWs. Dadurch erreicht diese Variante einen Primärenergiefaktor von 0,92 und spart gegenüber der 2. Variante 13 kg/m² im Jahr ein.

Die vierte Variante erweist sich nicht nur als äußerst umweltfreundlich, sondern auch als durchaus wirtschaftlich. Bei einer Eigenkapitalrentabilität von 5% liegt der spezifische Wärmepreis bei 0,74 €/m² im Monat. Dies ist der beste Wert des Variantenvergleiches. Darüber hinaus erzielt diese Variante einen Primärenergiefaktor von 0,3. Damit hat das Nahwärmenetz einen besseren Primärenergiefaktor als das Vattenfall-Fernwärmenetz. Mit spezifischen CO₂-Emissionen in Höhe von 2 kg/m² im Monat kommt diese Variante nah an die Klima-Neutralität. Klimaneutral sagt dabei nicht aus,

dass diese Variante keinen CO₂-Ausstoß hat, sondern viel mehr, dass kein CO₂ der Atmosphäre zugeführt wird, weil anderswo CO₂ absorbiert oder weniger emittiert wird.

Aufgrund der verglichenen Kennzahlen der einzelnen Varianten kann gesagt werden, dass die Umsetzung von Variante vier durchaus empfehlenswert ist und in den kommenden Leistungsphasen der HOAI genauer betrachtet werden sollte.

7.2 Zusammenfassung

Durch die Variantenauslegung und der daraus berechneten Kennzahlen könnten Vergleichswerte der vier Energiekonzepte ermittelt werden. Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass sich die Variante 4 für die HOWOGE Wärme GmbH im Vergleich zu den anderen drei Varianten am meisten lohnen würde. Die Kombination aus zwei Blockheizkraftwerken, einem Grundlast-BHKW und einem Heizperioden-BHKW erweist sich als durchaus wirtschaftlich und umweltfreundlich. Des Weiteren wird der Immobilienwert durch das Mieterstrommodell gesteigert und ein Beitrag zur Umsetzung des Berliner Energiewendegesetzes geleistet. Aufgrund von hohen Investitionskosten ist ein Umbau von einer dezentralen Energieversorgung zu einer zentralen Energieversorgung bei diesem Projekt nur dann sinnvoll, wenn zusätzlich zu einem Grundlast-BHKW ein Heizperioden-BHKW installiert wird. Durch die höheren Stromeinspeisungen in das öffentliche Netz und den im Vergleich zu Variante 3 nur gering ansteigenden Investitionskosten steigt die Eigenkapitalrendite bei dieser Variante durch den höheren KWK-Anteil rapide an.

Alternativ zur Variante 3 ist eine dezentrale Modernisierung der Wärmezentralen zu empfehlen. Durch den Einbau moderner Gasbrennwertkessel wird die Effizienz der Wärmeanlagen verbessert.

7.3 Ausblick

Bei einer Zentralisierung der Energieversorgung mehrerer Mehrfamilienhäuser fallen äußerst hohe Investitionskosten an. Diese werden in dem vorliegenden Projekt über 15 Jahre abgeschrieben. Das Nahwärme- und Stromnetz können jedoch länger genutzt werden, wodurch sich die Gewinne nach der kompletten Abschreibung enorm steigern. In dem „Aktionsprogramm Elektromobilität 2020“ wurde das Ziel Berlins bis

zum Jahr 2020 festgelegt. Ziel ist es, ein international anerkanntes Vorbild der Elektromobilität zu sein.³⁴ Für die vierte Variante wäre eine Option, die Stromüberschüsse welche in das öffentliche Netz eingespeist werden, zum Aufladen der Elektroautos zu nutzen. Dadurch entstehen höhere Stromgewinne und es werden die drei Sektoren Elektrizität, Wärmeversorgung und Verkehr miteinander gekoppelt.

Durch die Sektorenkopplung besteht bei diesem Projekt ein enormes Potential noch wirtschaftlicher, effizienter, umweltfreundlicher und innovativer zu werden.

³⁴ Vgl. o.A. (2014): Berlin-Brandenburg elektrisiert, Hg. v. Berliner Agentur für Elektromobilität eMO, online verfügbar unter http://www.emo-berlin.de/fileadmin/user_upload/140318_Aktionsprogramm_Elektromobilitaet_2020_final_WEB.pdf, S. 7, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

Literaturverzeichnis

Aldehoff, Larissa (2016): Primärenergiefaktor und -bedarf. Hg. v. Klimakönnner GmbH. Online verfügbar unter <https://www.klimakoenner.de/blog/primaerenergiefaktor>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Behrla, Oliver (o.J.): Was bedeuten Wirkungsgrad und Stromkennzahl beim BHKW. Hg. v. DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH. Online verfügbar unter <https://www.heizungsfinder.de/bhkw/ratgeber/stromkennzahl-wirkungsgrad>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

o.A. (2014): Berlin-Brandenburg elektrisiert. Hg. v. Berliner Agentur für Elektromobilität eMO. Online verfügbar unter http://www.emo-berlin.de/fileadmin/user_upload/140318_Aktionsprogramm_Elektromobilitaet_2020_final_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (2015): Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG. Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/KWKG.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (2015): Primärenergiefaktoren. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06fbc70ecf24f3a7c1257e51003da425/\\$file/705_2015-04-22_grundlagenpapier-primaerenergiefaktoren.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06fbc70ecf24f3a7c1257e51003da425/$file/705_2015-04-22_grundlagenpapier-primaerenergiefaktoren.pdf), zuletzt geprüft am 06.07.2017.

o.A. (2016): Berliner Energiewendegesetz (Bln EWG). Hg. v. juris GmbH. Online verfügbar unter <http://gesetze.berlin.de/jportal/jsessionid=BD51BC8DD4279B278D2685468EB88CC6.jp23?quelle=jlink&query=E-WendG+BE&psml=bsbeprod.psml&max=true&aiz=true#jlr-EWendGBEpP15>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (2016): Europäische Energie- und Klimaziele. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/europaeische-energie-klimaziele>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (2016): Klimawandel. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (2017): Energieeinsparverordnung (EnEV). Hg. v. Verbraucherzentralen Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.verbraucherzentrale.de/enev>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (o.J.): Bestwerte bei der Energieeffizienz. Hg. v. Vattenfall Europe Wärme AG. Online verfügbar unter <https://www.vattenfall.de/de/geschaeftskunden-waerme-berlin-primaerenergiefaktor.htm>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

o.A. (o.J.): CO₂-Emissionsfaktoren. Hg. v. Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH. Online verfügbar unter <http://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

- o.A. (o.J.): Ein Energiewendegesetz für Berlin. Hg. v. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. Online verfügbar unter <http://www.berlin.de/senuvk/klimaschutz/energiewendegesetz/>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- o.A. (o.J.): Energetische Bewertung. Hg. v. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/erzeugung/energetische-bewertung/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.
- o.A. (o.J.): EnEV und Fernwärme. Hg. v. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/erzeugung/energetische-bewertung/enev-und-fernwaerme/>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- o.A. (o.J.): Honorarordnung für Architekten und Ingenieure. Hg. v. Einbock GmbH. Online verfügbar unter <http://www.juraforum.de/lexikon/honorarordnung-fuer-architekten-und-ingenieure>, zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- o.A. (o.J.): KWK-Aufschlag 2017. Hg. v. Amprion GmbH. Online verfügbar unter <https://www.amprion.net/Strommarkt/Abgaben-und-Umlagen/KWK-G/KWK-Aufschlag-2017.html>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- o.A. (o.J.): KWKG-Umlage. Hg. v. Amprion GmbH et al. Online verfügbar unter <https://www.netztransparenz.de/KWKG/Aufschlaege-Prognosen>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- o.A. (o.J.): Landesenergieprogramm Berlin 2006-2010. Hg. v. Senat Berlin. Online verfügbar unter http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/landesenergieprogramm/de/downloads/endfassung_landesenergieprogramm.pdf, zuletzt geprüft am 07.07.2017.
- o.A. (o.J.): Leverage-Effekt. Hg. v. Janedu UG. Online verfügbar unter <http://www.welt-der-bwl.de/Leverage-Effekt>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- o.A. (o.J.): Primärenergiebedarf. Hg. v. BauNetz Media GmbH. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/primaerenergiebedarf-664168>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.
- o.A. (o.J.): Statistiken zum Wohnen in Deutschland. Hg. v. Statista GmbH. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/themen/51/wohnen/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.
- o.A. (o.J.): Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) § 34 Leistungsbild Gebäude und Innenräume. Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/hoai_2013/___34.html, zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- o.A. (o.J.): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV). Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Online verfügbar unter http://www.ea-tut.de/wp-content/uploads/2015/09/EnEV_2014_Juris.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (o.J.): Wärme- und Kältenetze. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Online verfügbar unter http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Waerme_Kaeltenetze/waerme_kaeltenetze_node.html, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (o.J.): Was bedeutet Arbeitspreis? Hg. v. E wie einfach GmbH. Online verfügbar unter <https://www.e-wie-einfach.de/faq/faqs/was-bedeutet-arbeitspreis>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

o.A. (o.J.): Ziele und Aufgaben. Hg. v. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/wir-ueber-uns/ziele-und-aufgaben/>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.

Theiß, Eric (2012): Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik. Energieeffiziente Systemtechnologien der Kraft- und Wärmetechnik; Anlagenkonzepte, Anwendungen, Praxistipps. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl.

Wildt, Alexander (2017): Eigenkapitalrentabilität. Hg. v. reimus.NET GmbH. Online verfügbar unter <https://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/Kennzahlen/Eigenkapitalrent.html>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

Anhang

A	Primärenergiefaktoren	56
B	CO₂-Emissionsfaktoren aus der Klimaschutzvereinbarung für das Land Berlin	57
C	Wirtschaftlichkeitstool	1
C.1	Seite 1 Variantenauswahl	1
C.2	Seite 2 Gebäudedaten	2
C.3	Seite 3 Gebäudedaten Zusammenfassung	3
C.4	Seite 4 Auslegung Energieanlage 1	4
C.5	Seite 5 Auslegung Energieanlagen zwei und drei	5
C.6	Seite 6 Investitionskosten	6
C.7	Seite 7 Betriebskosten	7
C.8	Seite 8 Verbrauchskosten	8
C.9	Seite 9 Erlöse aus Stromerzeugung	9
C.10	Seite 10 Erlöse aus Stromerzeugung Berechnungsgrundlage	10
C.11	Seite 11 Erlöse aus Wärmeverkauf	11
C.12	Seite 12 Kreditkonditionen	12
C.13	Seite 13 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung	13

A Primärenergiefaktoren

Energieträger	Primärenergiefaktor
Erdgas, Flüssiggas	1,1
Heizöl	1,1
Steinkohle, Braunkohle	1,1 bzw. 1,2
Strom	1,8
Holz (Pellets, Hackschnitzel)	0,2
„Umweltenergie“ (Solarenergie, Umgebungswärme etc.)	0,0
Nah- und Fernwärme aus Heizwerken	0,1 bzw. 1,3
Nah- und Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung	0,0 bzw. 1,7

Siehe Seite 30 des [Grundlagenpapiers Primärenergiefaktoren des BDEW](#). Diese Werte basieren auf den Vornormen DIN 4701-10/A1 und DIN V 18599-1.

B CO₂-Emissionsfaktoren aus der Klimaschutzvereinbarung für das Land Berlin

Fernwärme*		
	BTB	0,046
	Fernheizwerk Neukölln	0,22
	FHW Märkisches Viertel	0,217
	RWE Biomasse HKW Gropiusstadt	0
	RWE EKT	0,211
	Thermotex	0,211
	Urbana	0,211
	Vattenfall	0,149

Grundlagen CO₂-Monitoring BBU: Übersicht CO₂-Faktoren in kg CO₂/kWh

Kennwert 2010		
Gas		0,211
Holz		0
Kohle		0,35
Öko-Strom		0
Strom		0,708
Öl		0,266
Öl/Gas 10/90	Kombi-Anlagen (Anteile %/%)	0,217
Öl/Gas 15/85	Kombi-Anlagen (Anteile %/%)	0,219
Öl/Gas 20/80	Kombi-Anlagen (Anteile %/%)	0,222
Öl/Gas 5/95	Kombi-Anlagen (Anteile %/%)	0,214

C Wirtschaftlichkeitstool

C.1 Seite 1 Variantenauswahl

HOWOGE Wärme GmbH		Varianten und Randbedingungen zur Energiekostenberechnung								Bemerkungen, Erklärungen und Rechenvorschriften	
Projekt-Nr. + Projekt:		Nahw ärmenetz									
Bearbeiter, Datum:		kan, 26.07.2017									
Teilprojekt:		Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz									
		Energieträger		PE-Faktor f PE,Br,HKW / HW		spezifische CO2 Emissionen in kg/MWh		Abrechnung nach Energieinhalt - Faktor			
		--				0					
Variantenunabhängige Vorgaben		Strom***		2,8		708,0		entfällt			
		Erdgas*		1,1		211,0		oberer Heizwert			
		Heizöl*		1,1		266,0		unterer Heizwert			
		Biogas**		0,5		69,0		oberer Heizwert			
		Bioöl**				91,8		unterer Heizwert			
		Holz-Pellets**		0,2		58,0		unterer Heizwert			
		Holz-HS**		0,2		33,0		unterer Heizwert			
		Scheitholz**		0,2		0,0		unterer Heizwert			
		Fernw ärme***		0,56		149,0		entfällt			
		Sonne		2,8		0,0		unterer Heizwert			
		Verdräng. Mix		2,8							
Quelle: * AfS Berlin Brandenburg, Energie- + CO2 Bilanz, 2012, ** Gemis 4.2, ***Vattenfall 2016											
Variantenabhängige Vorgaben		FW		Gaskessel		BHKW (klein)+MS		2 BHKW+MS			
Untersuchte Varianten		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4			
Organisation		Contracting		Contracting		Contracting		Contracting			
Laufzeit											
Energieanlage 1											
Energieanlage 2											
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)											
Energieträger		FW		SLK		BHKW		BHKW			
Standort		FW		Gas		SLK		SLK			
Verteilung		zentral		zentral		zentral		zentral			
Ort/Art TWW		Heiz+TWW		Heiz+TWW		Heiz+TWW		Heiz+TWW			
Jährliche Preissteigerungen für Abnehmer und Energieträger (Ansatz)											
Abnehmer z.B.		Wärme		0,0%		0,0%		0,0%		0,0%	
--											
Strom				0,0%		0,0%		0,0%		0,0%	
Erdgas				0,0%		0,0%		0,0%		0,0%	
Heizöl											
Biogas											
Bioöl											
Holz-Pellets											
Holz-HS											
Scheitholz											
Fernw ärme				0,0%		0,0%		0,0%		0,0%	
Sonstiges											
Bezeichnung für den Index des Steuerelements Auswahl Mehrwertsteuer											
alle Angaben ohne Umsatzsteuer											
alle Angaben inklusive Umsatzsteuer											
19%											
Mehrw ertsteuersatz, Testausgabe											
Bezeichnung für den Index des Steuerelements Auswahl Organisation											
Eigenregie											
Contracting											
Darf auf keinen Fall gelöscht werden.											
Eingabe der Variantenbeschreibung											
Eingabe der Preissteigerungen											
Ausgew ählt werden können nur Energieträger, die in dieser Tabelle eingetragen sind. Ein Tausch innerhalb der Tabelle ist möglich, eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Tabelle nicht!											

C.2 Seite 2 Gebäudedaten

HOWOGE Wärme GmbH		Energieabnehmer 1								Bemerkungen, Erklärungen und Rechenvorschriften	
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahw ärmenetz									In diesem Arbeitsblatt werden für den Energieabnehmer 1 die notwendigen Leistungen, sowie die notwendige Energiemenge erfasst. Zudem werden Objektdaten eingegeben.	
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017										
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz										
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4					Variantenbeschreibungen werden vom Arbeitsblatt Var-EVK übernommen	
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting						
Laufzeit											
Energieanlage 1											
Energieanlage 2				BHKW	BHKW					Eingabe der Gebäudekosten für den Energieabnehmer 1	
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)				SLK	SLK						
Energieträger		FW	SLK	SLK	SLK						
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral						
Energieabnehmer 1		Gesamtprojekt	Gesamtprojekt	Gesamtprojekt	Gesamtprojekt					Anschlussdaten für die Objekte des Energieabnehmers 1	
Gebäude (Anzahl)	20	20	20	20							
Aufgänge (Anzahl)											
WE (Anzahl)	668	668	668	668							
GE (Anzahl)									Eingabe des Wärme- /Kältebedarfs des Eabn. 1 ohne Berücksichtigung der Wärmeverteilungsverluste		
Nutzfläche = Bezug (m²)	38.313	38.313	38.313	38.313							
Anschlussdaten Energieabnehmer 1											
Bedarf Warmwasser (kWh/a)											
Bedarf Raumheizung (kWh/a)									Eingabe der auftretenden Wärmeverteilungsverluste für die Objekte des Eabn. 1 resultierender Wärmebedarf in der Heizzentrale für den Eabn. 1		
Wärme-/Kältebedarf Objekt (kWh/a)	4.757.523	4.757.523	4.757.523	4.757.523							
spez. Wärme-/Kältebedarf (kWh/m²a)	124	124	124	124							
Verteilungsverluste (%)			15,0%	15,0%							
Gesamtwärme-/Kältebedarf (kWh/a)	4.757.523	4.757.523	5.471.152	5.471.152					Summe der einzelnen Wärmeleistungen Eingabe der benötigten Wärmeleistung der Heizzentrale für Eabn. 1		
Leistung Abn 1 (kW)	2.643	2.504	2.880	2.880							
Leistung Abn 2 (kW)											
Leistung Objekt (kW)	2.643	2.504	2.880	2.880							
Leistung Heizzentrale (kW)	2.643	2.504	2.880	2.880					Strombedarf muss nur erfasst werden, wenn die Stromversorgung mit übernommen werden soll (Eigenversorgung/GbR-Modell)		
Strombedarf bei Stromversorgung des Objektes											
Gesamtstrombedarf Objekt (MWh/a)	958	958	958	958							
Bemerkungen:											

C.3 Seite 3 Gebäudedaten Zusammenfassung

HOWOGE Wärme GmbH		Energieabnehmer			
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahwärmenetz				
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017				
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz				
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting
Laufzeit					
Energieanlage 1					BHKW
Energieanlage 2				BHKW	BHKW
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW	SLK	SLK	SLK
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral
Gebäudedaten gesamt					
Gebäude	(Anzahl)	20	20	20	20
Aufgänge	(Anzahl)				
WE	(Anzahl)	668	668	668	668
GE	(Anzahl)				
Nutzfläche = Bezug	(m²)	38.313	38.313	38.313	38.313
Anschlussdaten Wärme gesamt					
Bedarf Warmwasser	kWh/a				
Bedarf Raumheizung	kWh/a				
Leistung Objekte	(kW)	2.643	2.504	2.880	2.880
Wärme-/Kältebedarf Objekte	(MWh/a)	4.758	4.758	4.758	4.758
spez. Wärme-/Kältebedarf	(kWh/m²a)	124	124	124	124
Gesamtleistung HZ	(kW)	2.643	2.504	2.880	2.880
Gesamtwärme-/Kältebedarf HZ	(MWh/a)	4.758	4.758	5.471	5.471
Verteilverluste	(%)		0%	15%	15%
Strombedarf					
Gesamtstrombedarf	MWh/a	958	958	958	958

C.4 Seite 4

Auslegung Energieanlage 1

HOWOGE Wärme GmbH		Auslegung der Anlagen				Seite 1				Bemerkungen, Erklärungen und Rechenvorschriften
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahwärmenetz									Ermittlung des Brennstoffverbrauchs und der Stromerzeugung verschiedener Anlagen und der jeweils eingesetzten Energieträger
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017									
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz									
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4					
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting			---	---	---
Laufzeit										
Energieanlage 1					BHKW					Variantenbeschreibungen werden vom Arbeitsblatt Var-EVK übernommen
Energieanlage 2					BHKW					
Energieanlage 3 (z.B. Spitzelast)		FW	SLK	SLK	SLK					
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas					
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral					
Objektdaten										
Gebäude		20	20	20	20					Objektdaten werden vom Arbeitsblatt Wärmeabnehmer übernommen
Aufgange										
WE		668	668	668	668					
GE										
Nutzfläche = Bezug	(m²)	38.313	38.313	38.313	38.313					
Wärmeleistung Objekte	(kW)	2.643	2.504	2.880	2.880					
Wärmebedarf Objekte	(MWh/a)	4.758	4.758	4.758	4.758					
spez. Wärmebedarf Objekte	(kWh/m²a)	124	124	124	124					
Gesamtleistung HZ	(kW)	2.643	2.504	2.880	2.880					berechnet aus Wärmebedarf der WA, einschließlich Verteilverluste Mittel aller betrachteter Objekte, inklusive Wärmeverteilverluste Mittel aller betrachteter Objekte
Gesamtwärmebedarf HZ	(MWh/a)	4.758	4.758	5.471	5.471					
Wärmeverteilverluste	(%)		0,0%	15,0%	15,0%					
Energieanlage 1 (z.B. Grundlast GL)										
Beschreibung					agentor 408					
Hersteller										
Energieträger		-- ▼	-- ▼	-- ▼	Erdgas ▼	-- ▼	-- ▼	-- ▼	-- ▼	Auswahl der Energieträger, Zielwert wird in die Zelle unter dem Steuerelement geschrieben und in weiteren Arbeitsblättern als Index verwendet
installierte Leistung th	(kW)				381,0					
installierte Leistung el	(kW)				360,0					
Vollbenutzungsstunden	(h)				5.280					
Nutzungsgrad	eta el, Hu				42,5%					Eingabe der el und th Nutzungsgrade, bezogen auf den unteren Heizwert Hu, bei reiner Wärmeerzeugung ist der el Nutzungsgrad Null Minderungsfaktor erhöht anteilig den Brennstoffverbrauch
	eta th, Hu				45,0%					
Minderungsfaktor	(%)				10,0%					
	eta, ges, Hu				88%					
Wärme-/Kälteerzeugung	(MWh)				2.012					
Stromerzeugung EA 1	(MWh)				1.901					
Faktor Hs / H					1,10					
Verbrauch 1	(MWh)				5.409					
Wärmeleistung, Anteil	(%)				13,2%					Der Brennstoffverbrauch bezieht sich auf den unteren Heizwert Hu
Wärmeerzeugung, Anteil	(%)				36,8%					

C.5 Seite 5 Auslegung Energieanlagen zwei und drei

HOWOGE Wärme GmbH		Auslegung der Anlagen								Seite 2
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahwärmenetz									
Bearbeiter, Datum	kan, 26.07.2017									
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz									
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4					
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting		---	---	---	
Laufzeit										
Energieanlage 1					BHKW					
Energieanlage 2				BHKW	BHKW					
Energieanlage 3 (z.B. Spitzelast)		FW	SLK	SLK	SLK					
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas					
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral					
Energieanlage 2 (z.B. Mittellast ML)										
Beschreibung				agenitor 406	agenitor 406					
Hersteller										
Energieträger		--	--	Erdgas	Erdgas	--	--	--	--	--
installierte Leistung th (kW)				304,0	304,0					
installierte Leistung el (kW)				250,0	250,0					
Vollbenutzungsstunden (h)				7.176	7.176					
Nutzungsgrad				39,8%	39,8%					
Nutzungsgrad, Hu				48,3%	48,3%					
Minderungsfaktor (%)				10,0%	10,0%					
Wärme-/Kälteerzeugung (MWh)				88,1%	88,1%					
Stromerzeugung EA2 (MWh)				2.182	2.182					
Faktor Hs / H				1,794	1,794					
Verbrauch 2 (MWh)				1,10	1,10					
Wärmeleistung, Anteil (%)				5,465	5,465					
Wärmeerzeugung, Anteil (%)				10,6%	10,6%					
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast SL)										
Beschreibung		FW HAST	SLK z.B. Remeha	SLK z.B. Remeha	SLK z.B. Remeha					
Hersteller										
Energieträger		Fernwärme	Erdgas	Erdgas	Erdgas	--	--	--	--	--
installierte Leistung th (kW)		2.643,1	2.504,0	2.879,6	2.879,6					
Vollbenutzungsstunden (h)		1.800,0	1.900,0	1.143,0	443,0					
Nutzungsgrad		99%	90%	90%	90%					
Nutzungsgrad, Hu										
Minderungsfaktor (%)										
Wärme-/Kälteerzeugung (MWh)		4,758	4,758	3,291	1,276					
Faktor Hs / H		1,00	1,10	1,10	1,10					
Verbrauch 3 (MWh)		4,806	5,815	4,023	1,559					
Wärmeleistung, Anteil (%)		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%					
Wärmeerzeugung, Anteil (%)		100,0%	100,0%	60,2%	23,3%					
Probe Wärmeerzeugung Summe		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	--	--	--	--	--
Probe Wärmeleistung Summe		100,0%	100,0%	110,6%	123,8%	--	--	--	--	--
Bemerkungen:										
Stromkennzahl (o)	Energieanlage 1				0,945					
	Energieanlage 2			0,822	0,822					
Deckungsanteil (K)	Energieanlage 1				0,368					
	Energieanlage 2			0,399	0,399					
	Energieanlage 3	1,000		0,602	0,233					

Variantenbeschreibungen werden vom Arbeitsblatt Var u. Fin übernommen

Auswahl der Energieträger, Zielwert wird in die Zelle unter dem Steuerelement geschrieben und in weiteren Arbeitsblättern als Index verwendet

Eingabe der el und th Nutzungsgrade, bezogen auf den unteren Heizwert Hu, bei reiner Wärmeerzeugung ist der el Nutzungsgrad Null
Minderungsfaktor erhöht anteilig den Brennstoffverbrauch

Der Brennstoffverbrauch bezieht sich auf den unteren Heizwert Hu

Auswahl der Energieträger, Zielwert wird in die Zelle unter dem Steuerelement geschrieben und in weiteren Arbeitsblättern als Index verwendet

Eingabe des th Nutzungsgrades, bezogen auf den unteren Heizwert Hu

Der Brennstoffverbrauch bezieht sich auf den unteren Heizwert Hu

C.6 Seite 6 Investitionskosten

HOWOGE Wärme GmbH		Investitionskosten							
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahw ärmenetz								Alle Angaben inklusive Umsatzsteuer
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017								
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz								
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4				
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting			---	---
Laufzeit									
Energieanlage 1					BHKW				
Energieanlage 2				BHKW	BHKW				
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW	SLK	SLK	SLK				
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas				
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral				
Nutzfläche (m²)		38.313	38.313	38.313	38.313				
spez. Wärme-/Kältebedarf (kWh/m²a)		124	124	124	124				
Investitionskosten in Euro									
Grundstück	100								
Herrichten u. Erschließen	200	200.000		50.000	50.000				
Bauwerk	300								
Energiezentralen									
Trafo Mittelspannungsanschluss				100.000	100.000				
Technische Anlagen	400								
PV									
Speicher (Wärme/Strom) abzgl. Förderung			50.000	40.000	40.000				
BHKW mit Zubehör				847.765	1.337.100				
GBWK mit Zubehör			700.000	500.000	500.000				
FW mit Zubehör		600.000		500.000	500.000				
Außenanlagen	500								
Wärmenetz				505.200	505.200				
Stromnetz				412.000	412.000				
Tiefbau									
Förderung									
Ausstattung u. Kunstwerke	600								
Zwischensumme		800.000	750.000	2.954.965	3.444.300				
Zuschlag (Sicherheit)	5%	40.000	37.500	147.748	172.215				
Teuerung									
Baunebenkosten Planung,	700	168.000	157.500	620.543	723.303				
Förderung					-168.000				
Gesamte Anfangs-	2018	1.008.000	945.000	3.723.257	4.171.818				
Ersatzinvestitionen in Euro									
Investitionsvorhaben									
Ersatzinvestition									
Zeitpunkt des Ersatzes	(Jahr)								

C.7 Seite 7 Betriebskosten

HOWOGE Wärme GmbH		Betriebskosten			
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahw ärmenetz				
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017				
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz				
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting
Laufzeit					
Energieanlage 1					BHKW
Energieanlage 2				BHKW	BHKW
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW	SLK	SLK	SLK
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral
Nutzfläche	(m²)	38.313	38.313	38.313	38.313
spez. Wärme-/Kältebedarf	(kWh/m²a)	124	124	124	124
Betriebskosten in Euro/a					
Wart. + Instandh. 2% WP			500	400	400
Wart. + Instandh. 1% PV+Speicher					
Wart. + Instandh. 2% HZ		12.000	14.000	20.000	20.000
Wart. + Instandh. 0,1% (aussen)					
Schornsteinfeger			1.190	1.190	1.190
Erneuerung WMZ anteilig			1.666	1.666	1.666
Abrechnung + Inkasso					
Betriebsführung		3.481	4.641	4.641	4.641
Überwachung		2.321	2.321	2.321	2.321
Allgemeinkosten		595	595	595	595
Kosten mit Bezug auf die erzeugte Strommenge (BHKW)					
BHKW vorhanden		nein	nein	EA2	EA1 + EA2
Stromerzeugung 1	(MWh/a)	kein BHKW	kein BHKW	kein BHKW	1.901
Stromerzeugung 2	(MWh/a)	kein BHKW	kein BHKW	1.794	1.794
Wartung BHKW1	(Euro/MWh)				18,18
Logistik	(Euro/MWh)				
Wartung BHKW2	(Euro/MWh)			21,42	21,42
Betriebskosten BHKW-EA1	(Euro/a)				34.558
Betriebskosten BHKW-EA2	(Euro/a)			38.427	38.427
Betriebskosten gesamt	(Euro/a)	18.396	24.913	69.240	103.798

HOWOGE Wärme GmbH		Verbrauchsdaten für die Erzeugung von Wärme, Kälte, Strom und Hilfsenergie							
Projekt-Nr. + Projekt:		Nahw. ärmenetz						Alle Angaben inklusive Umsatzsteuer	
Bearbeiter, Datum:		kan, 26.07.2017						Daten beziehen sich auf das Jahr	
Teilprojekt:		Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz						2016	
Untersuchte Varianten		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
Organisation		Contracting		Contracting		Contracting		Contracting	
Laufzeit									
Energieanlage 1									
Energieanlage 2									
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW		SLK		BHKW SLK		BHKW SLK	
Verbrauchsdaten									
Energieanlage (EA) 1		Energieträger:		--		Erdgas		--	
installierte Leistung (th)		(kW)		381		381		--	
Verbrauch Energiezentrale		(MWh)		5.409		5.409		--	
Arbeitspreis		(Euro/MWh)		27,67		27,67		--	
Leistungspreis		(Euro/kW)						--	
Verrechnungspreis		(Euro/a)		24.046,64		24.046,64		--	
Erstatt. Brennst.steuer KWK		(Euro/MWh)		5,50		5,50		--	
Verbrauchsdaten EA 1		(Euro)		173.721		173.721		--	
Energieanlage (EA) 2		Energieträger:		--		Erdgas		--	
installierte Leistung (th)		(kW)		304		304		--	
Verbrauch Energiezentrale		(MWh)		5.465		5.465		--	
Arbeitspreis		(Euro/MWh)		27,67		27,67		--	
Leistungspreis		(Euro/kW)						--	
Verrechnungspreis		(Euro/a)		31.837,59		24.295,00		--	
Erstatt. Brennst.steuer KWK		(Euro/MWh)		5,5		5,5		--	
Verbrauchsdaten EA 2		(Euro)		183.058		175.516		--	
Energieanlage (EA) 3		Energieträger:		Fernwärme		Erdgas		--	
installierte Leistung (th)		(kW)		2.643		2.880		--	
Verbrauch Energiezentrale		(MWh)		4.806		4.023		--	
Arbeitspreis		(Euro/MWh)		51,30		27,67		--	
Leistungspreis		(Euro/kW)		42,31				--	
Verrechnungspreis		(Euro/a)		12.000,00		23.435,14		--	
Verbrauchsdaten EA 3		(Euro)		358.354		50.073		--	
Verbrauchsdaten Strom für Hilfsenergie, Zusatz- u. Reservestrom									
Bedarf zur Stromerzeugung		(MWh)		95,15		109,42		--	
Bedarf für Wärme-/Kälteverteil.		(MWh)		95,15		109,42		--	
Bedarf für Wärme-/Kältenetz		(MWh)						--	
Arbeitspreis Strom		(Euro/MWh)		284,80		182,07		--	
Verrechnungspreis Strom		(Euro/a)		1.968,00		1.968,00		--	
Verbrauchsdaten Strom		(Euro)		29.067		19.923		--	
Verbrauchsdaten gesamt		(Euro)		387.421		419.232		--	
Bemerkungen:									
Erdgas Bestand - Gasag (aus Studie)				Angebot: EGT Ökostrom- (Variante Meterstrom 3 und 4)					
Arbeitspreis		ct _{netto} /kw h		15,3		Erstattung der Mineralölsteuer (KWK)			
Grundpreis		€ _{netto} /Jahr		6963,44		EnergieStG		€ _{netto} /MWh	
								5,5	
Erdgas Bestand - Gasag einzelner Gasanschluss				Strom Bestand - Vattenfall (Variante 1 und 2)					
Arbeitspreis		ct _{netto} /kw h		28,48					
Grundpreis		€ _{netto} /Jahr		98,40					
Ansatz Bedarf Hilfsenergie für Wärmeverteilung: 2% der Wärmemenge									

V
-
-
-
-
-

C.10 Seite 10 Erlöse aus Stromerzeugung Berechnungsgrundlage

HOWOGE Wärme GmbH		Berechnungsgrundlagen				(Seite 3)	
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahw ärmen						
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017					Daten beziehen sich auf das Jahr	2016
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz						
Berechnungsgrundlage:							
Stromkosten für Mieter							
Grundpreis	€ _{brutto} /Jahr	57,60	€ _{netto} /Jahr	48,40			
Vergleichspreis - Grünwelt Energie - 2000 kWh Stand 11/15							
Arbeitspreis	ct _{brutto} /kw h	26,44	ct _{netto} /kw h	22,22			
Grundpreis	€ _{brutto} /Jahr	105,60	€ _{netto} /Jahr	88,74			
Zusatzstrom - Bestbieter Gewerbestrom 200 MWh							
Arbeitspreis	ct _{brutto} /kw h	18,21	ct _{netto} /kw h	15,30	Angebot: EGT Ökostrom		
Grundpreis	€ _{brutto} /Jahr	20.186,49	€ _{netto} /Jahr	16.963,44			
EEG Umlage	ct/kWh	6,88					
Erstattung der Mineralölsteuer (KWK)							
EnergiestG	€/MWh	5,50					
Berechnung des Nutzungsentgeltes durch Vorgabe der Stromkosten für die Mitglieder der GbR							
EEX Durchschnittspreis	(Euro/MWh)	29,78	Q3/2017				
verm. Netzentgelte	(Euro/MWh)	2,70					
Brennstoffsteuererstattung	(Euro/MWh)	5,50	über den Abschreibungszeitraum - i.d.R. 10 Jahre, dannach Mindeststeuersatz von aktuell 1,08 €/MWh				
KWK Bonus Einspeisung	(Euro/MWh)	80,00	bis 50kWel 80,00 €/MWh	50,00	€/MWh über 50 kWel bis 250 kWel		
KWK Bonus Eigennutz	(Euro/MWh)	40,00	bis 50 kWel 40 €/MWh	0	€/MWh über 50 kWel		
Laufzeit KWK Bonus	(Jahre)	60.000	bis 50 kWel 45.000 Vbh	30.000	über 50 kWel 30.000 Vbh		
PV Einspeisevergütung EEG	(Euro/MWh)	107		20	Jahre Laufzeit EEG		
Sonstige Förderung	(Euro/MWh)	30		15	Jahre Laufzeit		
Sonstige Förderung Eigennutz	(Euro/MWh)	25		12	Jahre Laufzeit		

C.11 Seite 11 Erlöse aus Wärmeverkauf

HOWOGE Wärme GmbH		Erlöse aus Wärme- und Kälteverkauf							
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahw ärmenetz							Alle Angaben inklusive Umsatzsteuer	
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017							Daten beziehen sich auf das Jahr	2016
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz								
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4				
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting			---	---
Laufzeit									
Energieanlage 1					BHKW				
Energieanlage 2				BHKW	BHKW				
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW	SLK	SLK	SLK				
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas				
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral				
Energieabnehmer 1									
Leistung	(kw)	2.643	2.504	2.880	2.880				
Wärmebedarf	(MWh)	4.758	4.758	4.758	4.758				
Arbeitspreis	(Euro/MWh)	54,18	74,67	51,79	49,92				
Leistungspreis	(Euro/kW)								
Verrechnungspreis	(Euro/Jahr)	226.491	128.979	237.859	246.750				
Mischpreis	(Euro/MWh)	101,79	101,79	101,79	101,79				
aktuelle Kosten	(Euro/a)	484.245	484.245	484.245	484.245				
Wärmepreis	€/m²	1,053266	1,053266	1,053266	1,053266				

HOWOGE Wärme GmbH		Kreditkonditionen				Alle Angaben inklusive Umsatzsteuer			
Projekt-Nr. + Projekt:	Nahw ärmenetz								
Bearbeiter, Datum:	kan, 26.07.2017								
Teilprojekt:	Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz								
Untersuchte Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4				
Organisation		Contracting	Contracting	Contracting	Contracting			---	---
Laufzeit									
Energieanlage 1					BHKW				
Energieanlage 2				BHKW	BHKW				
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW	SLK	SLK	SLK				
Energieträger		FW	Gas	Gas	Gas				
Standort		zentral	zentral	zentral	zentral				
Nutzfläche (m²)		38.313	38.313	38.313	38.313				
spez. Wärme-/Kältebedarf (kWh/m²a)		124,18	124,18	124,18	124,18				
Investition									
Investitionssumme (Euro)		1.008.000	945.000	3.723.257	4.171.818				
Eigenkapital (Euro)		201.600	189.000	744.651	834.364				
Anteil Eigenkapital (EK) Investition		20,00%	20,00%	20,00%	20,00%				
Anteil EK Ersatzinvestition		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%				
Kreditkonditionen I									
Kreditinstitut									
Darlehensart		Annuitäten	Annuitäten	Annuitäten	Annuitäten				
Darlehenshöhe (Euro)		806.400	756.000	2.978.605	3.337.455				
Geamtlaufzeit (Jahre)		15	15	15	15				
Zinssatz I (effektiv) (%)		2,50%	2,50%	2,50%	2,50%				
Zinssatz II (effektiv) (%)									
Laufzeit I (fester Zinssatz I) (Jahre)		15	15	15	15				
Tilgungsfreie Anlaufjahre (Jahre)									
Tilgungszuschuss (Euro)									
Zeitpunkt Tilgungszuschuss (Jahre)									

C.13 Seite 13 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

HOWOGE Wärme GmbH		Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung								E		
Projekt-Nr. + Projekt:		Nahw ärmenetz		Vollkostenberechnung Energiekosten				Alle Angaben inklusive Umsatzsteuer				
Bearbeiter, Datum:		kan, 26.07.2017										A
Teilprojekt:		Wirtschaftlichkeit + Klimaschutz		Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt unter Berücksichtigung der nebenstehenden Zinssätze für angehäuften Zahlungsüberschüsse				Sollzins		1,50%		d
								Habenzins				
Untersuchte Varianten		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4				
Organisation		Contracting		Contracting		Contracting		Contracting		---		
Laufzeit												
Energieanlage 1						BHKW		BHKW				V
Energieanlage 2						BHKW		BHKW				
Energieanlage 3 (z.B. Spitzenlast)		FW		SLK		SLK		SLK				
Energieträger		FW		Gas		Gas		Gas				
spez. Wärmebedarf (kWh/m²a)		124		124		124		124				
Investitionen (in Tsd. Euro) im Jahr der Inbetriebnahme 2018												
Investitionssumme		1.008		945		3.723		4.172				
davon Eigenkapital		202		189		745		834				A
Ersatzinvestitionen												
Kosten und Erlöse für die Wärme-/Kälteversorgung (in Tsd. Euro)												
										betrachtete Laufzeit (Jahre)		15
Kreditkosten (Zinsen+Tilgung)		977		916		3.574		1.252				
Verbrauchs- und Betriebskosten		6.087		4.278		6.105		7.845				
Ersatzinvestitionen												
Erlöse		7.264		7.264		10.847		13.394				
Gesamtkosten (Vollw ärmekosten)		-199		-2.070		-1.168		-4.297				
Vollständiger Finanzplan (VoFi)												
										betrachtete Laufzeit (Jahre)		15
VoFi-Endwert		199		2.070		1.168		4.297				
nach Steuer		200		1.487		1.037		3.224				
VoFi-Endwert - eingesetztes Eigenkapital		-1		1.298		292		2.389				
VoFi-EK-Rendite		0,0%		14,7%		2,2%		9,4%		--		

elbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Berlin, den 11.08.2017

Hannes Kilian